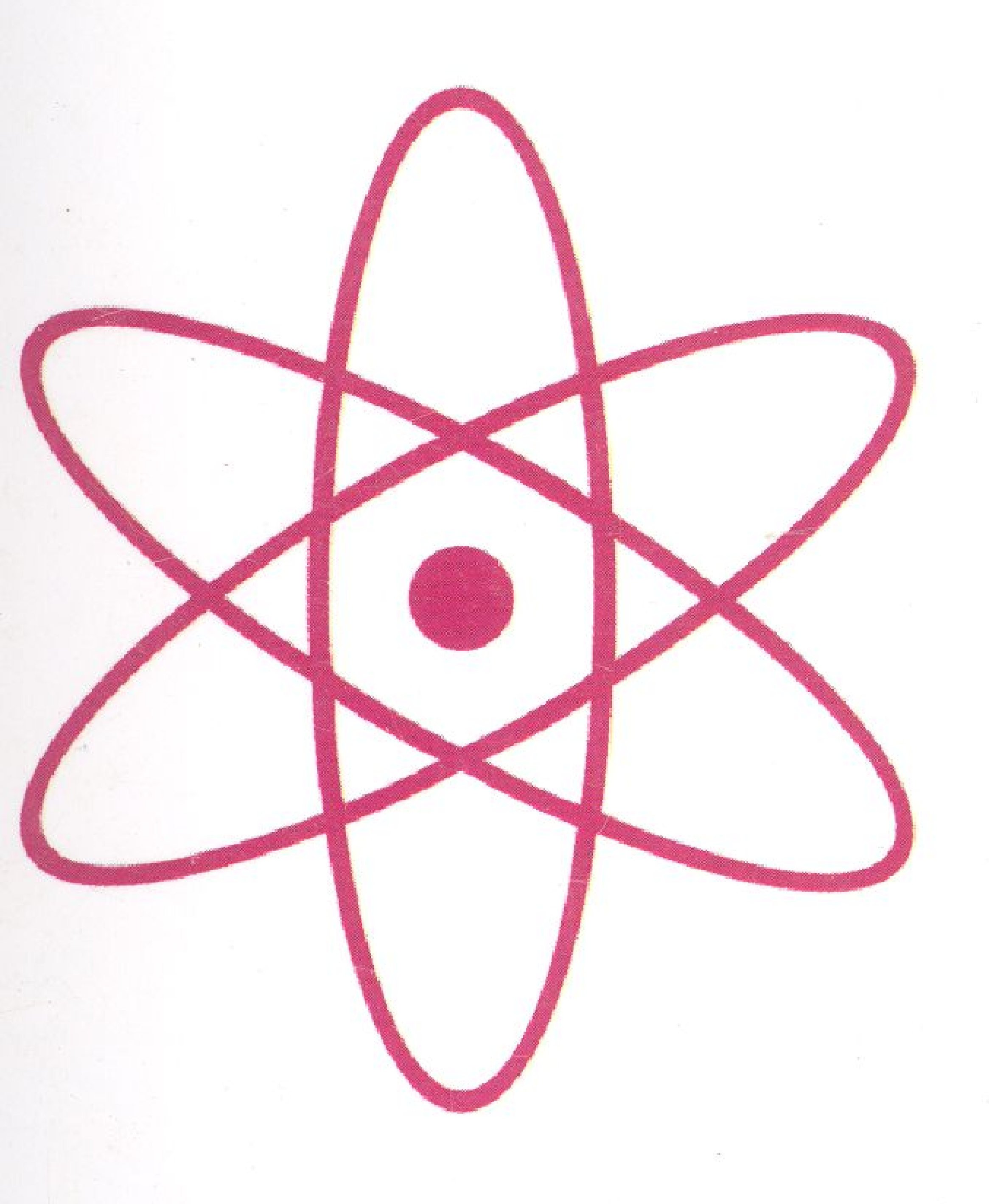
Puplic
Sience

جليس كوهن ـ تانودجي





# الثوابت الفيزيائية ودورها الكوني




ترجمة

د. عبد اللطيف يوسف الصديقي

# الثوابت الفيزيائية
# ودورها الكوني

Gilles Cohen-Tannoudji

# Universal Constants In Physics

جليس كوهن - تانودجي

# الثوابت الفيزيائية

# و

# دورها الكوني

ترجمة

د. عبد اللطيف يوسف الصديقي



منشورات دار علاء الدين

- الثوابت الفيزيائية ودورها الكوني.
- تأليف: جليس كوهن - تانودجي.
- ترجمة: د. عبد اللطيف يوسف الصديقي.
- الطبعة الأولى ٢٠٠٦.
- عدد النسخ /١٠٠٠/ نسخة.



- تمت الطباعة في دار علاء الدين للنشر.
- هيئة التحرير في دار علاء الدين.

- الإدارة والإشراف العام: م. زويا ميخائيلينكو.
- التدقيق اللغوي: صالح جاد الله شقير.
- الغلاف: أمل البقاعي.
- المتابعة الفنية والإخراج:

أسامة راشد رحمة.

دار علاء الدين

للنشر والتوزيع والترجمة

سورية، دمشق، ص.ب: ٣٠٥٩٨

هاتف: ٥٦١٧٠٧١، فاكس: ٥٦١٣٢٤١

البريد الإلكتروني: ala-addin@mail.sy

# المقدمة

كتب إسحاق نيوتن Isaac Newton (١٦٤٢-١٧٢٧) مقدمة الطبعة الأولى لكتابه الموسوم «المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية» Principia Mathematica Philosophiae Naturalis في مايو من عام ١٦٨٦ بكمبرج، الكتاب الذي هيمن ليس على عقول الفيزيائين فحسب بل جميع المشتغلين في العلم والثقافة أكثر من قرنين. جاء هذا العمل تلبية للفلكي أديموند هالي Edmond Halley (١٦٥٦-١٧٤٢) قاصدا من ورائه «توطيد» ومن ثم «البرهنة» على العلم الذي أطلق عليه «الميكانيك العقلاني» كنقيض للميكانيك العملي الذي يتعلق باستخدام الآلات، أما دراسته الرياضية فكانت عن «الحركة الناتجة عن أيّ قوى، وكذلك القوى اللازمة لأيّ حركة». فهذا العلم يحتوي على فرضيات عامة (تعاريف وبدهيات، أو نظريات وقوانين...الخ). هذا ما يشغله الجزآن الأولان من العمل، بينما يستعرض الجزء الثالث مثالا «لشرح نظام العالم»

وذات مرة صرح نيوتن قائلا «إن الذي جعلني أرى أكثر من غيري هو أنني كنت أقف على أكتاف العمالقة.» وفي الواقع يمكن اعتبار نيوتن استمرارا بل أمتدادا لأعمال جاليليو و ديكارت في الميكانيك، وإلى كبلر في الفلك علما بأنه كان متأثرا بأعمال هايجنز Christian Huygens.

وتجدر الأشارة هنا إلى أن الخمسين سنة الأولى من القرن السابع عشر لا ينقصها الرجال العظام! وهكذا أتت المبادئ لتكون تتويجا بل لوحة رائعة لأكبر حركة فكرية شهدتها الإنسانية منذ القدم.و لم يكن نيوتن نفسه مقتنعا تماما بنتائج الآخرين المشوشة والمضطربة، فبدءا بتصريحاته حول

التعاريف والبدهيات، أخذ يبدع بجرأة وحماس مما أدى إلى مضايقة أغلب معاصريه. ومن هذا المنطلق قدم لنا ثلاثة مبتكرات أكثرها خصوبة وحيوية وموضع نقاش وجدل عميقين، لها الفضل الكبير في تقدم الفيزياء.

وخلافاً لمنحى ديكارت صاحب «المبادئ الفلسفية» Principia Philosophiae (1644) الذي يعتقد بأن نيوتن ألغى فكرة القوة باعتبارها فكرة غامضة ومشوشة ومرتبطة بتعاليم أرسطو الميتافيزيقية. ولذا أخذ نيوتن على عاتقه هذا العبء كنتجة لاختزال المادة، إلى درجة أنه رفض أيّ فروق بين المحتوى الداخلي والمحتوى الخارجي للأجسام.

ومن هذا المنطلق قدم لنا صورة متكاملة عن العالم من حيث حدوث جميع الحركات وأشكالها التي تتم عن طريق اتصالات تسبب بالتالي دوامات هائلة ومستمرة. ولقد كان نيوتن أيضاً معارضا تماما لوجهات النظر هذه المتسمة بالمبالغة المتكلفة والتي بدورها تبدو غير مناسبة إطلاقا للفيزيائي الرياضي على الرغم من منطق ديكارت الصريح.

لقد أعاد نيوتن تعريف كمية المادة «كقياس يمكن أن يؤخذ على أساس كثافته وحجمه» وأن مقدار حركة الجسم عبارة عن قياس لكل من سرعته وكمية مادته. وبناء على هذا الأساس استنتج نيوتن أن الأجسام التي تتحرك في الفضاء تبدو ساكنة وفارغة تبعا للمسارات المنحنية والتي يمكن تقديرها بالقوى والتي يمكن قياسها - في حد ذاتها - بالدقة الرياضية.

وظهر ابتكار نيوتن الثاني مباشرة في عمله «تطوير طريقة جديدة للحسابات» الوارد في مذكراته الموسومة «طريقة التغير والمتسلسلات اللا نهائية» Method of (1671) fluxions and infinite series، حيث علل فيها طريقة عقلانية للأسباب الأولية والنهائية التي تحتوي على اللا نهائية في الصغر، كما يطلق عليها حاليا «حساب التفاضل».

وهكذا استطاع نيوتن بقدرة بارعة ومحكمة أن يلخص المفاهيم الأساسية التي تشكل حجر الزاوية لهذا الحساب. «و على حد قوله» إنني أعتبر الكميات الرياضية هنا على أنها ليست مكونة من أجزاء صغيرة فحسب بل يمكن وصفها أيضا بحركة مستمرة. فالخطوط تم وصفها ولا تزال توصف على أنها ليست إضافة الأجزاء بعضها فوق بعض، ولكن عن طريق الحركة المستمرة للنقاط.

ويمكن الحصول على السطوح عن طريق حركة الخطوط المستقيمة. والمجسمات ناتجة عن حركة السطوح والزوايا خلال دوران الأضلاع، والزمن هو دفق مستمر. هذه في الواقع الجذور الأساسية التي تمثل في حد ذاتها المكان الحقيقي لطبيعة الأشياء كما نلحظها يوميا أثناء حركة الأجسام.

أما تطبيقات «الميكانيك العقلاني» فيمكن تصوره على أنه اشتقاق من نسق متسم بالمبالغة والتكلف معطيا صورة متألقة لانظير لها عند نيوتن في منطق قانون الجاذبية العام - الذي يمثل الابتكار الثالث - ويستخدم نفس معادلات الحركة لوصف» تأرجح الحجر المعلق وكذلك دوران الكواكب حول بعضها بعضاً أو الأجسام السماوية الأخرى. وأعلن نيوتن عن أمله مؤكدا أنه في يوم ما ستقوم القوى التي تحكم حركة الجسيمات بتكوين جسم يمكن فهمه بنفس الطريقة.

ومتى تم التغلب على الاعتراضات الدائمة ضد الديكارتية فإن شهرة نيوتن ستصبح عالمية، ومن ثم تستحق أعماله التقدير والإجلال، ومن هنا اعتبر فلاسفة التنوير أنفسهم نيوتونيون في محيط العلم كما في ميادين الأخلاق والسياسة.

فكتاب جليس تانودجي Gilles Cohen Tannoudji هذا يضع تاريخ الفيزياء الحديثة برمته من منظور وجهةنظر البحث المعاصر ويعتبر نيوتن في المقام الأول من بين أربعة أعلام رئيسيين فيه. ومن الواضح جدا أنه حتى بعد القرون الثلاثة

التي أعقبته لايزال الفيزيائيون يستشهدون به في شروح أعمالهم. ومع بداية القرن الثامن عشر تم الاعتراف والإجماع على أن مؤلف «المبادئ» قادر على استخدام معادلة رياضية واحدة لوصف القوى التي تحكم العالم الطبيعي. وهكذا تكللت «المبادئ» بالنجاح من خلال ترابطها المنطقي المحكم، إن لم تكن تصميما متكاملا لهذه القوى.

لقد برهن نيوتن على أن المعرفة البشرية قد وجدت مسارها الصحيح كي تقهر الطبيعة ككل. وعلى هذا النحو حقق نيوتن الآمال التي وضعت أمام الفيزياء منذ فجر العلم الحديث.

وكان جاليليو مقتنعاً كل الاقتناع بأن «كتاب الطبيعة العظيم» Great Book of Nature قدكتب بلغة الرياضيات، وهذا ما برهن نيوتن على صحته. وبالفعل نجح نيوتن ليس في تأسيس علاقات الفكر لفهم الطبيعة فحسب، بل في إعداد صورة واضحة عن الفكر والتي أصبحت فيما بعد موضع نقاش حاد.

ثمة نظرة عقلانية غير مستساغة في التاريخ تعتقد على أن العلم الحديث ناجم عن تحولات فكرية مفاجئة مرتبطة أساسا بالحياة النشيطة الفعالة. وهكذا انتزع العالم مع نهاية العصور الوسطى من سباته الديني التأملي إلى جوهر الطبيعة حول «السؤال» بمعناه الحرفي الذي قصده اللورد المستشار بيكون Lord Chancellor Bacon على أن التحول (التغير) يحتاج إلى وقت طويل كي يمكن تطويره أو تحسينه ولذا تسبقه حركات روحية وفكرية عميقة كما هو الحال مع «النار والكبريت» fire - and brimstone في أعمال برونو Dominician G.Brono (١٥٤٨-١٦٠٠) مثلا.

ولقد وجد الفيلسوف الألماني أرنست كاسير Ernst Cassirer الكلمات الصحيحة للتعبير عن نغمتها الأساسية قائلا: الرغبات والسعادة الحسية ترتبط

بقوة الروح التي تبعد البشرية عن الواقع البسيط الملموس وتدعم ما يمكن تصوره. لقد صدر الحكم الكاثوليكي بالاعدام حرقا على برونو Brono في السابع عشر من فبراير من عام ١٦٠٠ تحت تلك الشروط القاسية. وكانت محكمة الكهنة حذرة تماماً ومدركة للخطر، لأن جريمة هذا الثائر لا تكمن في إخلاصه وولائه إلى نظريات كوبر نيكوس حول مركزية الشمس فحسب بل - ودون ريب - إلى عين الأخطاء التي ارتكبها برونو في الاعتقاد «بالسحر الطبيعي» تلك التقاليد السحرية التي شطرت الكنيسة عن الملكيات المعارضة للإصلاح من منظور مضطهديه. ولم تكن أخطاؤه الرئيسة التي يفتخر بها على أساس رسالة العالم الجديد مبنية على هذه التعاليم القديمة البالية.

إن فرضياته المزعومة عن لانهائية الكون وعلى وجود عوالم أخرى قد أخذت كدليل على التجديف على الله. واعتبرت عند هؤلاءالمتعجرفين عملا شيطانيا. وهكذا دق ناقوس العصور الوسطى حول مسألة العلاقة بين الفكر بالوجود. وما الواقع برمته إلا معمار إلهي خالد، والفاصل بين «العلة الأولى» التي تشكل في حد ذاتها وجودا، يلقى حتفه المحتوم في يوم ما. وما المعرفة التي يمارسها العقل الطبيعي إلا مساوية تماما لتصورنا هذا عن المكان وكذلك اكتشافنا لهذا التدرج.

لأن الطبيعة تبدو وكأنها محددة بحدود قضائية أي حتمية، فإن الحدود لا يمكن النفاذ اليها لأنها تفصل الخالق عن مخلوقاته جميعا، ويدانون مسبقا ليس لنقص معارفهم بل حتى في أعمالهم. وهكذا أحدث برونو Brono ثوراناً حقيقياً كان بمثابة تهديد لهذا الصرح. فالطبيعة بالنسبة له تتقاسم تماما باطن الوجود الذي هو أصلي وإلهي وتمثل روح العالم. فالقدرة الخلاقة للفكر هي وحدها القادرة على أن تؤكد لنفسها لانهائيتهما.

ومن دون ريب فقد أيد جاليليو بعض الشيء هذا الاعتراف ولكنه عبر عن وجهة نظره بأسلوب مغاير تماما مستخدما صورة تحتفظ بفكرة «الاله الشخصي» الذي يحتفظ بعلاقة الخارجي عن المخلوقات. فالله هو صاحب «كتاب الطبيعة العظيم» ويجب أن نقبل الحقيقة الآتية وهو أن الإنسانية منحت كتابين. ولقد أشار جاليليو في هذا الصدد إلى أنه بدلا من الغموض الموجود في الكتاب المقدس فإنه من الأفضل إيضاحه بلغة رياضية كتبتها الطبيعة كي يكون في متناول الإدراك البشري. ومع هذا فهو لم يقدم أيّ شروح ميتافيزيقية عما قبل الخليقة، تلك المسألة التي أثيرت من خلال تصوره في هذين الكتابين. فديكارت الذي كان محل إعجاب جاليليو كباحث، قد رثاه لفلسفته المتواضعه، و التي انصبت عبقريته فيها في توطيد الأسس الفلسفية المناسبة للميكانيك الجديد. فعمله «تأملات في الفلسفة الجديدة» The Meditationes de prima Philosophia الصادر عام ١٦٤١ م قد مهد الطريق لهذا الأساس وذلك بتجديد معنى «الخلق» حيث اقترح فيه ديكارت على أن الله هو خالق جوهر الأشياء و «الحقائق الأبدية» وهو الذي زرع أدمغتنا فهو إذن الكفيل والمسؤول عن الطريقه التي نستخدم بها هذه الحقائق في الطبيعة.

وكل ما في الأمر هو أن نسلك الطريق السليم الذي تعلمنا إياه الهندسة التحليلية، والتي تجعل العالم من حولنا في غاية الشفافية من الوضوح والدقة لعقولنا من خلال هذا النور الطبيعي. فإن الإقحام الحديث للعقل واستقلالية عملياته، وما يتصل بذلك قد تم التأكد منها بالفعل وبدرجة من الثقة التامة. ومهما يكن في الأمر فإن ديكارت تحاشى أن يرثي اندفاع برونو Brono وحماسه الشديد: باعتبار أن الله يظل كائنا لانهائيا لا يمكن إدراكه بالعقل النهائي الذي يواجه الحدود الوجودية (الأنتولوجية). لقد رفض فلاسفة عصر التنوير جميع فرضيات ديكارت، وكذلك استنتاجاته الميتافيزيقية، وذلك باعتبارهم انتقاديين للمنحى الديكارتي راغبين في كسر حلقة الوصل الأخيرة بين معرفة

الطبيعة وبعض جذور القوى الخارقة لها. وكان باستطاعتهم تبني أعمال نيوتن نتيجة هذا الخلاف. فبدلا من أن يعزو تقدم الفكر البشري إلى تأثير «النور الطبيعي» المفترض كانت تصريحاتهم تضج بالقول إن الطبيعة في حد ذاتها تهدي بل تنير العلم والمعرفة.

لقد طرح دالمبرت Jean Le Rond d'Alembert (١٧١٧-١٧٨٣) في كتابه «الأصول الفلسفية» Elements de Philosophie السؤال التالي: ما هو مهم بالنسبة لنا في الواقع هو اختراق جوهر الأشياء مع مراعاة النسق العام لظاهره، والذي يجب أن يكون انتظاماً مستمراً لا يواجهه أي تناقض؟ فنحن لا نبحث عن وحدة الطبيعة ولا عن وحدة جذورها الإلهية، ولنقنع أنفسنا إذن بالمعرفة التي تقدم لنا نظاما كاملا وثابتا وواضحا تماما كنسق محكم ذي كينونة واحده منتظمه بذاتها.

لقد كانت النقطة تدور حول شمولية قانون الجذب (الجاذبية \الثقالة) الذي أدى في آخر الأمر إلى الاعتراف بمذهب نيوتن.

فهذا الانعطاف في النيوتنية أعطى نهوضا حقيقيا للتقاليد الابستمولوجية التي ظهرت في فرنسا على يد الفلكي الرياضي لابلاس Pierre Simon Laplace (١٧٤٩-١٨٢٧) واستمرت في أعمال أوغست كونت Auguste Comte وأتت إلينا بصور مختلفة عن الوضعية الفلسفية، التي تزعم بأن العلم يجب أن يتخلى عن المحاولة لتحديد «لماذا» للظاهرة وأن يدرس فقط - كيفية حدوث الظاهرة - «كيف».

ويجب أن يقتنع العلماء جميعا حول تطوير الصياغه الرياضية للنظم التي تشترك في الحقائق المبنية على الملاحظة. فمثل هذا التصور يخفي في داخله مأزقا فكريا لم يستطع نيوتن نفسه ولا حتى معاصروه الهروب منه: وهو كيف يمكن

لفكرة الطبيعة أن تحرم من الدعم المعد من قبل فكرة الله دون شروح مسبقة لمعنى الشمولية والوحدة والأبدية ونواميسها؟ لا سيما إذا شئنا أن نتحاشى الحلول التي اقترحها سبينوزا Spinoza والشبيه إلى حد ما بتلك التي تطرق لها برونو Brono وعلى وجه التحديد بصورة مبسطة تماثل الله بالطبيعة؟ وعندما دعت الحاجة والشعور بنيوتن أن يكتب Scholium في عام ١٧١٣ كإضافة إلى الطبعة الثانية «للمبادئ» توصل إلى المشكلة مباشرة، لكي يتسنى له أن يزيح بعض الالتباسات موضحا بذلك أنه ليس ثمة علة «ميكانيكية» لنظام العالم.

«إن هذا النظام الهائل للشمس والكواكب والمذنبات لا بد وأنه نابع عن تصميم ملكوت كائن عاقل مفكر، هذا الكائن هو الذي يحكم كل شيء وليس هو روح للعالم فحسب بل رب لجميع الأشياء الموجوده»، وكما فعل الآخرون فقد تجاهل دالمبرت d'Alembert عن عمد هذه النزعة من الاعتقاد والتي يرجع أساسها إلى نقطة سابقة للتقاليد الدينية الغربية عليه.

لقد لاحظ الفيلسوف الأسكتلندي ديفيد هيوم D.Hume (١٧١١-١٧٧٦) أنه عندما نولي جهودنا المعرفية إلى بدهيات اتساق الطبيعة فنحن نلجأ أخيرا إلى اعتقاد بسيط جدا. وبحث هيوم أساس هذا الاعتقاد في تحليل «الطبيعة الإنسانية» مما دفع أخيرا أمانويل كانط I.Kant إلى أن يصرح بأن هذا الجدل هو الذي أيقظه من سباته الدوغماتي العميق.

فكاتب «نظرية السماء» هو أيضا صاحب «نقد العقل المحض» (١٧٨١) حيث ذكر في الأخير ما يأتي: كي ننقذ موضوعية العلم النيوتني الذي شوهة فكر هيوم الشكوكي، فإنه يجب أن يتغير مصير الفلسفة الغربية جذريا، لأن هذا الخلاص أو ذاك الإنقاذ يمكن أن يتم إذا ما تم فصل الزمان المطلق والمكان المطلق عن لاهوت «المبادئ» كي يمكن رصدها في بنية العقل البشري كأنماط بدهيات الحس:

وهكذا فإن مسألة «حدود» المعرفة يجب أن تصاغ إذن على النحو التالي: «فالبشر لا يمكنهم أن يعرفوا الأشياء في ذاتها» هذا ما أطلق عليه فيما بعد «محدودية» الإنسان - حدود المعرفة البشرية -. فهذه المحدودية هي التي تحكمنا على أنه يمكن أن ننشئ من خلال ملكاتنا العقلية «أشياء» فقط لا أكثر عن أن يقال بأنها تتطابق مع وجود هذه الأشياء، لأنها مبنية على حقائق الإدراك الحسي الصادرة عنه.

إن موضوعية المعرفة الفيزيائية الناتجة عن الفيزياء نفسها تبدو كأفق للعمليات التي يمكن تنظيمها بالحاجة غير المشروطة للتوحيد، والتي تعود بالتالي إلى وحدة الإنسان المفكر، ومن وجهة نظر العلم فإن أهم أعمال كانط Kant تكمن في اعترافاته التي تعطي تصورا نيوتنياً عن علاقة المادة بالمكان، لأن المكان هو شكل للحدس وليس صورة للأشياء، إنه في الواقع يختلف جذريا عن المادة التي تشغله، وليس للمادة أي تأثير عليه.

وكما أصبح صاحب هذا الصرح ذا مقام وهيبة بدا من الصعب تماما أن نفهم القدرة التي تمارس على الفكر حتى نهاية القرن التاسع عشر لأن النجاحات التراكمية المتسقة للميكانيك العقلاني والتي تستند عليها لم يعترف بها بعد، ومن هذا المنطلق أعطى أوغست كونت Comte صورة موسوعية عن هذه النجاحات في مؤلفه «سياق الفلسفة الإيجابية» Course de Philosophie Positive الذي كتبه في الفترة ١٨٣٠ و ١٨٤٢. كتب الآتي: «فمن الميكانيك السماوي إلى النظرية التحليلية للحرارة لفورييه» J. Fourier (١٧٦٨-١٨٣٠) نجد نفس الاسلوب من التفكير ففي كل مرحلة من هذه المراحل موضحة توضيحاً بإنتاجية هائلة.

ليس من الصعب أبدا أن نفهم في ظل هذه الظروف كيفية التشوش وجديته التي تشبث بها الفيزيائيون عندما أعيد اكتشاف القانون الثاني للحرارة في عام

١٨٥٠ كما صاغه سادي كارنوت Sadi Carnot عام ١٨٢٤ وكما جاء في مذكراته «انعكاسات على القدرة المحركة للحرارة والميكانيك اللازم لتطوير هذه القدرة» Reflexions sur la puissance motrice due feu et sur les mahines propres a developper cette puissance لقد كان سببا في ظهور نظام من الظواهر لا يمكن شمولها في أي مكان من هذا البناء.

إنه من الممكن تحويل الشغل بالكامل إلى حرارة والعكس ليس صحيحا، وهكذا أعطى كارنوت الصياغة النظرية لاستحالة العملية التي تمارس من قبل المهندسين لتطوير الآلات البخارية.

استطاع الفيزيائي النمساوي أرنست ماخ Ernst Mach (١٨٣٨-١٩١٦) أن يستخلص بعض الدروس الفلسفية منها بعد عدة عقود، ففي كتابه الشهير «الميكانيك والحضارة» Kultur und Mechanik كتب: إن لا عكوسية عمليات الديناميكا الحرارية يجب أن تؤدي إلى إعادة اختبار فرضيات الميكانيك.: حيث أشار إلى أن هذه العكوسية يجب أن تعيد اختبار فرضيات الميكانيك. فإذا كان القصد تفسير أي شيء على أساس «النموذج المكانيكي» يعني إذن التسليم إلى فلسفة الطبيعة التي ارتكبت عين الخطأ بجعل الإطلاقية التامة لمخطط الفكر للميكانيك العقلاني الذي يهدد بصورة مفرطة مثال كانط Kant حول الزمان والمكان المطلقين.

لقد حاول لودفيغ بولتزمان Ludwig Boltzmann (١٨٤٤-١٩٠٦) أن يكتشف القوانين المرئية (المكروسكوبية) للديناميكا الحرارية وأن يأخذ على عاتقه «لا عكوسية» هذه الظاهره، وذلك بتفسيرها على أنها التفسير الظاهري لتفاعلات أعداد كبيرة من الأنساق الأولية المكونه من الجزيئات والذرات، وكي يمكن إنجازها فإنه لا بد من استخدام الحسابات الاحتمالية.

كانت معارضة ماخ Mach واتباعه جذرية وقاسية في الحال: لقد أخذوا على عاتقهم هذا الحدس الذري كتجسيد جديد للفلسفة التي كانوا يحاربونها. لقد رفضوا فكرة الذرة، ولم يكن باستطاعتهم تقدير القيمة الصحيحة للحدس الاحصائي الذي انطلق به خصومهم، لذا فإن الإيمان الراسخ المعرفي الذي شرحه ماخ عدة مرات على صفحات أعماله دعم موقفهم، أعني وجب على الفيزيائين أن يمتنعوا عن أيّ فرضية حول الواقع الذي يدرسونه وأن يكونوا على قناعة تامة حول توطيد التوافق بين الصياغة الرياضية والحقائق الملحوظة.

أما بالنسبة إلى «المنطقية التجريبية» التي تتمثل في حلقة فينا (١٩٢٩) والتي جدت أساسا كجمعية أرنست ماخ Mach اوالتي أخذت على عاتقها دراسة أسس الفرضيات من جديد. وبصورة أدق فإن نزعة ماخ المعارضة للكانتية Kantism أعادت توجيه تفكيره إلى موقف قريب جدا لموقف هيوم Hume في الوقت الذي رفض أي مصدر للميتافيزيقيا.

لقد أكد آينشتاين A.Einstein (١٨٧٩-١٩٥٥) أكثر من مرة بأنه مدين إلى صاحب «الميكانيك والحضارة» أي إلى ماخ، ففي هذا الكتاب اكتشف ماخ سخف فكرة «الفعل المباشر لمسافة ما» Immediate action at a distance عند نيوتن وكذلك الصلة التي تربط مثل هذه الفكره إلى مفهومي الزمان والمكان المطلقين. ومع ذلك فإن آينشتاين لم يكن لديه أدنى انطباع كاف نحو وضعية ماخ ويعزى السبب في ذلك إلى الإعجاب الذي يكنه آينشتاين تجاه نيوتن نفسه. ولقد استطاع آينشتاين من خلال أعمال نيوتن أن يصقل الفكرة الشاقة، والتي تعد إحدى مهمات الفيزياء ألا وهي قضية إنشاء «نظرية موحده للكون» بأقل عدد ممكن من المعادلات الرياضية.

استطاع جليس تانودجي Tannoudji أن يشرح بدقة ووضوح أن مبدع النظرية الخاصة (١٩٠٥) وكذلك العامة (١٩١٦) قام بإنجاز هذا البرنامج بطريقته الخاصه.

ومتى سلط الضوء على فرضيات الميكانيك العقلاني، فإن آينشتاين باستطاعته أن يعيد تشكيل هذه الفرضيات بأسلوب آخر من التفكير وذلك عن طريق احتوائها، بينما يبقى تقديرها الرياضي تقريبيا. وسيرى القارئ قبل أن يتحقق بنفسه على أن «مفهموم التوحيد» الذي تنبأت به الفيزياء قد أساءت فهمه تماماً «الثورة الكوانية» من حيث كيف يمكن أن تفهم المادة على صعيد الدون ذرية (الدوذرية Subatomic) وأن تطبيق القوانين يختلف تماما عن تلك التي تطبق على نطاق المرئيات (المكروسكوبية)؟ حتى آينشتاين نفسه لم يقبل ولم يصدق بها أبدا، ولكن السؤال الفلسفي الذي يراود نيوتن للمرة الأخيرة هو ذلك الطموح الذي يريد أن يوصله إلى أجيال من الفيزيائين حول بناء «نظام للعالم».

إن الله هو تلك القوة العظمى الذي لا يوجد في مكان ما، ولكنه كلي الوجود وهو الذي يدعم تماسك هذا النظام كما ورد ذكره في كتاب «المبادئ» لنيوتن، لذا فإن المادة القابلة للمعرفة تأخذ بها الفلسفة الكانية وتتمسك بها.

ولقد رأينا الثمن الباهظ الذي دفعته الفيزياء نحو ذلك وبالمقابل بالنسبة إلى الاستقلالية الفكرية للوضعية التي طالما تقيد العلم بتسجيل قياسات الباحثين والتي قادت آينشتاين إلى اللجوء إلى سبينوزا: إنه وجود الطبيعة الذي يكشف لنا القوانين التي نصوغها. وبصورة عامة وبخلاف كل الأديان، اعتمد آينشتاين على «الأديان الكونية»: إن ما تطمح اليه الطبيعة هو الزخم المعرفي الناتج عن الدهشة.

وتبرهن لنا ميكانيكاً الكم على التفاعل بين أجهزة القياس والأجسام المراد دراستها مما أجبر الفيزيائين الذين يعملون على نطاق الحقل الذري على استكمال الشروط التجريبية وجعلها مفاهيم في حد ذاتها. فهل يعني هذا بأن العقل جزء جوهري حميم للمادة وأن الفيزياء المعاصرة تحاول أن تأخذ بوجهة نظر دينية معينة عن العالم كي تمجد سيادة الواحدة على الأخرى؟

إن من يقول ذلك في الواقع هم أولئك الذين يرون بالخلاص عن طريق الله على تقدم العلوم. فهل تقترح الفيزياء المعاصرة إذن أن نتوقف عن المحاولة ونضع الله دوما نصب أعيننا ومن ثم نتخلى عن العلم؟

إن عمليات توحيد الفيزياء لا تكشف لنا عن أي شيء ولكن مجموعة من وجهات النظر عن العالم تعتمد أساسا على النماذج التي نقدمها، والتي يجب أن نضعها في الواقع الذي تعرفه، فالثوابت العامة تمثل في حد ذاتها حجر الزاوية للفيزياء النظرية، وعلى حد تعبير بلانك Planck تحدد لنا بدقة استثنائية حدود جهودنا نحو اللا نهائية في الكبر وكذلك اللا نهائية في الصغر.

أما بالنسبة للفكر العلمي فقد كتب غاستون باشلار G.Bachelard «إذا ما تم تميز الحدود فيعني ذلك بأننا قد تجاوزناها». أما جليس تانودجي فقد تجاوز الحدود تماما دون أن يفقد أهواءه من التخمينات النهائية، فهو يعتقد بأنه يمكن اكتشاف قوى الله من خلال نظام الثوابت بدقة متناهية، والقدره على أن تحرك فكرة «الأفق» إلى نقطة يمكن أن نضع حينها المقولة الفلسفية الصحيحة.

لقد شد الانتباه إلى أسلوب متميز فريد من نوعه في الوقت الذي يتصارع فيه الفيزيائيون في حدود معارفهم. فهو يدافع عن تواضع طالب العلم وهو أيضا يبرهن على أن كيف يكون «الأفق» دائما في تباعد دون أن يوقف تقدم العرفة.

سيكتشف القارئ دون شك وبشغف شديد الخط الجديد الذي يرسم الحد الفاصل في أبحاث الفيزياء الفلكية وفيزياء الجسيمات: لأن هذه هي وعود الكزمولوجية العلمية وغدا ربما تكتشف ثوابت جديدة بنفس النمط ولكن هل سنعيد صوغ مفهومنا عن الكون؟

دومينيك ليكورت

# الثابتان G و c والنسبية العامة

تفيد مفردات «الثوابت» Constants و «العام» Universal على الحقائق الأبدية المشتملة جميعها على الرغم من أن العالم يبدو لنا الآن كعلاقات بينهما. فكيف يمكن للفيزياء أن تطرح نتائج الملاحظات الطارئة والمحلية على مستوى الحقائق الخالدة والشاملة؟ يحاول هذا الكتاب أن يجيب بدقة عن هذا السؤال.

إن الثوابت التي سوف نناقشها هي ثابت نيوتن للجاذبية G ثابت بولتزمان k وثابت سرعة الضوء c وأخيراً ثابت بلانك h. هذه الثوابت جميعا تلعب دورا رئيسا في بنية الفيزياء: أيّ هيكلها المستقل بذاته وبالذات عندما تكون الثوابت منفصلة عن بعضها بعضاً، وكذلك عندما نقوم بتوحيد اثنين منها أو ثلاثة أو جميعها.

ولقد قدمت لنا الفيزياء من خلال تطورها التاريخي ثوابت أخرى، مثل «ثابت الفراغ العازل» Dielectric Vacuum Constant وثابت هبل Hubble constant ولكن في أعتقادي بأن، h,k,c,G هي الثوابت العامة على الرغم من أن هذا الرأيّ ليس متفق عليه بالاجماع وغير مقبول من قبل الفيزيائين جميعا، حيث يرى البعض الآخر أن هناك ثوابت أخرى لا تقل أهمية عن تلك المذكورة، هذا بالإضافة إلى أن هذه الأربعة لا تتمتع بنفس القدر من الأهمية.

فيجب أن لا تكون هذه الآراء المختلفة موضع استغراب ودهشة، لأنه ليس هناك ما يجبر الفيزيائين على الإجماع في موضوع متعلق باستمولوجية الفيزياء، لذا فإن الرد الحاسم حول القضية المطروحة آنفا هو ما أقترحته أنا، وأرى أنه

يكمن في الفرضية القائلة بأن الثوابت العامة تعبر عن الحدود المتأصلة في المعرفة البشرية تلك الحدود اللا حتمية وغير القابلة للتحول ولكنها قادرة على الإزاحة كالأفق .Horizon.

إن الذي أريد أن أقترحه هو البرهنة على أن الثوابت الأربعة المذكورة هي في واقع الأمر تجل لوجود حدود هذه الأفق والتي بالتالي تكون قادرة على أن تفصلنا عن عالمي اللا نهائية في الكبر واللا نهائية في الصغر. وبتعبير أدق، قسمت هذه الثوابت إلى زوجين اثنين G, c من جهة و h، k من جهة أخرى.

G و c هما ثابتا النسبية المتضمنان في علاقاتنا بالنسبة للعالم الخارجي، وحيث إنهما يرتبطان بالخاصية النسبية لفكرة «الآنية» (التزامن) لذا يبدو أنه من المحال تعريف نفس «الآن» في أيّ مكان.

وبالمثل بالنسبة لـ h و k اللذان يفسران على أنهما كميات طاقة quanta ويمكن أن نصادفهما عندما نتعامل مع التركيب غير المرئي (الميكروسكوبي/المجهري) للمادة. فهذان الثابتان يحصران الأفق الزمني ويعكسان ما هو موجود هنا «الآن» وليس بالتأكيد ما كان وما لم يكن.

وفي واقع الأمر فإن الحقيقة الشاملة والأبدية، هي أن هذه الثوابت الأربعة تعبر بالتالي عن سرمدية الكون ومن ثم لا يمكن لقدراتنا أن تتجاوزه أو تمثله. لأن التصور القديم حول مركزية الإنسان Anthropocentism[1] وكذلك التصور الحديث حول مفهومي الاختزالية Reductionism والعلمية Scientism فقد انتهت جميعها بكل بساطة وأصبحت الفيزياء أكثر عمقا وجلاء نتيجة الثورة التي أحدثتها النظرية الكوانتية (نظرية الكم) تلك التي أسهمت بتقدم ملموس في حقلي العلم والتكنولوجيا للقرن العشرين.

---

١- أيَ أن الإنسان هو حقيقة الكون وغايته القصوى-المترجم

ولكن هذا التفسير لهذه الثوابت لم يحدث دفعة واحدة. ولكن في العلم تبعا للاحظات غاستون باشلار Gaston Bachelard الثاقبة فإنه يجب إعادة النظر في القديم على حساب الجديد، إنه الجديد الذي يعطي معنى وقيمة للقديم بعد تجديده.

## القانون العام للجاذبية وثابت نيوتن:

أولا وقبل كل شيء يجب أن نضع نصب أعيننا النظرة التجريبية للعلوم الفيزيائية حتى لو أذهلتنا المناقشات حول التفسير الفيزيائي لنتائجها. إن منطوق الثوابت المذكورة آنفا مدين في الواقع إلى التجارب الأساسية، وهذا ما حدث بالفعل إلى ثابت نيوتن G. وتجدر الإشارة هنا إلى أن ثمة اكتشافات سابقه لهذا الثابت قبيل أن يظهر في الإطار العام لنظرية الجاذبية. فتجارب جاليليو مثلا حاولت أن تبرهن على أن العجلة المنقولة (الممنوحة) إلى الجسم بواسطة الجاذبية تكون في واقع الأمر مستقلة عن كتلة الجسم. إن دقة ملاحظات تيكو براهه Tycho Brahe (١٥٤٦-١٦٠١) عن حركة الكواكب حول الشمس، والنموذج الظاهراتي الذي طوره الفلكي الألماني يوهان كبلر Johannnes Kepler هي التي قادته إلى صوغ القوانين المعروفة باسمه (قوانين كبلر).

ويجب أن نعلم أن هذه الأجسام لا تصف لنا مسارات دائرية بل أهليجية (بيضوية) بالأحرى، وأن هذه الكواكب تأخذ مساحات متساوية في أزمنة متساوية أثناء فترة دورانها، فهذه الفترات هي دالة محور الشكل الأهليجي. إن هذا التاريخ الذي يجمع شتات التجربة والملاحظة والتفسير هو في واقع الأمر لا غنى عنه من أجل صوغ قوانين نيوتن.

وهكذا شرح لنا ريتشارد فاينمان Richard Feynmann موضحا بأن قناعات نيوتن حول هذه الملاحظات قادرة على أن تصاغ في نظرية واحدة دون الرجوع إلى تلك الإضافات التي قيلت سابقا من قبل جاليليو و كبلر كل على حدة.

إذن ما هي الفكرة الأساسية التي تكمن وراء قانون المساحات؟ إن القوة التي تجذب الكواكب إلى الشمس هي نفسها التي تجذب مركز الشمس إلى الكواكب (لذا يقال بأنها مركزية)، إذن ماذا يؤكد لنا قانون جاليليو؟ يؤكد لنا ببساطة على أن العجلة الناتجة عن الجاذبية تكون مستقلة تماما عن الكتلة.

ولقد سبق لنيوتن أن صاغ علاقة لهذين القانونين ولكن لم يؤخذ بها. وهكذا فإن قانون تساوي المساحات تم تعليله بسهولة، وذلك إذا افترض على أن الكوكب يواجه عجلة ثابته في اتجاه الشمس، وهذه ناتجة عن افتراض العجلة المركزية التي في حد ذاتها التربيع العكسي للمسافة، والعكس يمكن استنتاجه رياضيا كالآتي: تنتج هذه العجلة حركة ويكون منحنى مسارها أهليجيا. وبتعبيرنا الحالي، فإن قوة الجاذبية تتناسب طرديا مع حاصل ضرب الكتلتين وعكسيا مع مربع المسافة بينهما (تساوي الجاذبية حاصل ضرب الكتلتين مقسوما على مربع المسافة بينهما).

ويمكن التعبير عن هذا القانون رياضيا، ويمكن أيضا استخدام المعادلة بحيث تتناسب القوى مع حاصل ضرب الكتلتين مقسوما على مربع المسافة بينهما. وهكذا فإن المسافة والكتلة والفترة الزمنية تمثل كميات فيزيائية أساسية، فمثلا الكتلة تعرف على أنها كمية المادة المحتواه في حجم معين، والمسافة هي مقدار الحيز الموجود بين نقطتين على خط معين والفترة الزمنية هي مقدار الزمن بين لحظتين. وبصورة عامة يمكن أن يقال بأن جميع الكميات الفيزيائية الأخرى ما هي إلا اشتقاق أو امتداد لهذه الكميات الأساسية.

إن «المضمون الاحداثي» Dimensional Content لأيّ كمية مشتقة يمثل تناسب الكميات الأساسية التي لها دور في تعريفه. فعلى سبيل المثال: السرعة، مضمونها الاحداثي هو خارج قسمة المسافة إلى الزمن، والعجلة هي الأخرى تساوي المسافة مقسومة على مربع الزمن وهكذا... فالقانون الفيزيائي يعبر إذن

عن تلك العلاقة التي تربط الكميات الفيزيائية التي لها نفس المضمون الاحداثي، وعلى سبيل الحصر، فإذا أخذنا قانون الجاذبية، نلاحظ اختلاف مضمون الاحداثي لكلا طرفي المعادلة! ما هو إذن المضمون الأحداثي للقوة؟ إنه كما ينص عليه قانون نيوتن الأول[1]: حاصل ضرب الكتلة في العجلة، إذن الكتلة مضروبة في المسافة مقسومة على مربع الزمن[2] الطرف الأيسر من المعادله هو قانون نيوتن للجاذبية ولكن عندما نأخذ الطرف الأيمن فإننا نحصل على مربع الكتلة، وهذا ناجم عن حاصل ضرب الكتلتين مقسوما على مربع المسافة وهكذا فليس ثمة أزمان أو كتل، الخ وأخيراً أدخل ثابت الجاذبية G للتغلب على مشكلة عدم الاتزان.

وعلى الرغم من أن الثابت G ينسب إلى نيوتن إلا أن نيوتن نفسه لم يتطرق إليه ابدا، فدور الثابت هنا يسمح لنا بإعادة صوغ بل تأسيس تناسق مضمون الأحداثي لكل من الطرف الأيمن والأيسر من المعادلة التي تعبر عن قانون نيوتن باللغة الرياضية المعاصره: F = G M m / r، حيث m هي كتلة الجسم و M كتلة الأرض و r هي المسافة بين الجسم ومركز الأرض.

يوضح لنا مصطلح «الثابت» على أن هذه الكمية يجب أن تكون مستقلة عن الزمن والمسافة والكتلة وكذلك طبيعة الجسم. فإذا لم تكن G ثابت الطبيعة العام، فان القانون العام للجذب لن يكون كما هو. وإذا كانت G معتمدة على الزمن فإن قوة الجاذبية ستتغير مع الزمن، ومن ثم فإن الكواكب لن تسلك مساراتها بنفس الوتيرة، وإذا كانت G معتمدة على موقع الجسم الذي يقع تحت تأثير الجاذبية فإن القانون العام لن يتناسب عكسيا مع مربع المسافة.

---

١- في الواقع هذا ما يخبرنا به قانون نيوتن الثاني بينما ينص الأول على القصور الذاتي في الحركة و السكون- المترجم

٢- بالرموز F=ms/t - المترجم

وكما سنرى فيما بعد أن هذا الثابت لن يؤخذ على أنه أحد خصائص الطبيعة الأساسية. فهل يمكن عند هذا المستوى من معرفتنا أن نقول بأن هذا الثابت هو مضمون هادف في حد ذاته. وعلى وجه الحصر يبدو لنا بأن هذه الكمية بحاجة ماسة إلى الصياغة الرياضية الصحيحة للقانون - فالكمية ذات المضمون الأحداثي المحدد (مكعب المسافة مقسوما على حاصل ضرب الكتلة في مربع الزمن أو بصورة أدق 6.67X10 m kg s) ومغزاها لا نستطيع أن ندركه حاليا.

يبدو في الواقع وللوهلة الأولى أن إدخال هذا الثابت سيكون دون جدوى، وربما يفقد القانون جماليته وتناسقه ومن ثم روعته التي أبهرت المفكرين وأثار تكهناتهم ونزعاتهم الفلسفية منذ عصر نيوتن. فالفيزياء مثلا تعارض دائما إدخال أيّ كمية تتطلب حسابات، وسنرى في نهاية هذا الكتاب الصورة المدهشة لهذا الثابت G وذلك عندما نتطرق إلى محاولة الربط بين الثابتين c وh حيث نجد العالم الدوذري الذي يشمل التركيب غير المرئي (الميكروسكوبي/المجهري) للزمان والمكان.

## النسبية الخاصة وسرعة الضوء C:

لقد شكلت أعمال نيوتن أساس التطور «العقلاني للميكانيك» الذي بلغ ذروته في أعمال الرياضي الفرنسي لاكرانج Joseph Louis Lagrange (١٧٣٦-١٨١٣) وكذلك الرياضي الأيرلندي هملتون William Rawan Hamilton (١٨٠٥-١٨٦٥). وكما أشار الفيزيائي أرنست ماخ Ernst Mach (١٨٣٨-١٩١٦) بأن ميكانيك نيوتن يحتفظ بالنمط الهندسي وتتقدم بالمحاولة التأليفية (التركيبية) Synthetic من حيث استنتاج الفرضيات من خلال التركيبات والأشكال، بينما يأخذ لاكرانج و هملتون الطريق التحليلي Analytical وذلك بتطبيق الجبر

هندسيا أيّ بتحديد الشروط اللازمة لوجود خصائص الأشكال. تعتمد الفيزياء الكلاسيكية (التقليدية) بالدرجة الأساسية على هذا النمط من التطور، ولذا تبدو لنا كتسلسل منطقي لرياضيات ميكانيكا الأجسام المادية.

ومع منتصف القرن التاسع عشر نجحت محاولات مكسويل J.C.Maxwell (١٨٣١-١٨٧٩) التركيبية، وظهرت لنا باتحاد الظواهر الكهربائية والمغناطيسية والضوئية في قالب نظري واحد. هذا القالب التركيبي (التأليفي) الذي احتوى هذه الظواهر جميعها يعد واحدا من أهم إنجازات الفيزياء العظيمة بل نصرا لها إن صح التعبير. وهكذا جاء مكسويل ليكون مدافعا عن النظرية الموجية للضوء في الوقت الذي كان نيوتن يؤكد ماديتها أيّ النظرية الجسيمية للضوء.

إنه لرائع جدا أن نعقد المقارنة بين النظرية الموجية للضوء التي تصفها معادلات مكسويل والنظرية الجسيمية التي تصفها معادلات لاكرانج و هملتون. في الواقع يبدو لنا أن عملية توحيد هذين الميكانيكيين ممكن، ولكن القضية الصعبة والملحة هنا تلك المتعلقة بالزمن اللازم لانتشار الضوء.

إن التجارب التي أجراها كل من ميكلسون Michelson و مورلي Morley عام ١٨٨٧ والتي تمت إعادة إجرائها عام ١٩٠٢ ومرة أخرى عام ١٩٠٣، كانت خالية من التعقيد وسهلة جدا. لقد حاول هذان العالمان الأمريكيان تحديد ما إذا كانت ظاهرة تداخل الضوء بين الحزم الضوئية القادمة من عدة مصادر يمكن إزاحته في اتجاهين مختلفين وبسرعات مختلفة. وعلى أيّ حال وخلافا لكل التوقعات فإن مثل هذا التداخل لا يحدث أبدا!

فالبرهان غير قابل للتغير لأن انتشار الضوء حتما ما هو إلا حالة خاصة ويتحدى أيضا القوانين الفيزيائية التقليدية ويعلن هزيمتها. فليس هناك سوى النظرية النسبية الخاصة التي يمكنها التغلب على مثل هذه الصعوبة.

لقد لاحظ الرياضي الفرنسي بوانكاريه Henri Poincare (١٨٥٤-١٩١٢) الذي اتخذ خطا جديدا على فكر أرنست ماخ حول فكرة «الفعل الطارئ عند مسافة ما» Immediate action at a distance والتي اتخذها نيوتن لتفسير تجاذب الأجسام في الفضاء المطلق المزعوم. وإذا ما افترضنا بما قام به آينشتاين بحزم وعناد، فإن مثل هذا الفعل ليس له وجود. وهذا يعني بصورة موجزة أنه إذا ما تم حدوث شيء ما عند النقطة (A) فإن تأثير ما حدث يستغرق وقتا، وهذا الزمن يمكن إرساله إلى النقطة B)) والتي تكون على بعد معين من (A).

ولكن عندما نتحدث عن زمن نهائي فهذا مساو بالمعنى لقولنا أنه لا يمكن أن تكون هناك سرعة لانهائية. فليس ثمة شيء قادر على الانتشار بسرعة لانهائية. والاستنتاج واضح تماما: وهو لا بد من وجود سرعة تمثل الحد الأقصى لكل السرعات الموجودة في هذا الكون برمته. ويبدو أيضا بأن هذه السرعة يجب أن تكون ثابتة كي لا تتغير مع تغير «الإطار المرجعي» (مجموعة الإسناد) Reference Frame وهو التعبير أو المصطلح الذي يستخدم في الفيزياء لتحديد نظام الاحداثيات (النظام الاحداثي) الذي تستند إليه مواقع الحركة المراد دراستها. فإذا كان مثل هذا التغير ممكنا وقادرا على إثبات ذلك، فإننا نستطيع أن نتجاوز حدود السرعة، وهذا هو التناقض بعينه!

وهكذا فإنه لا يوجد ولا يمكن أن توجد سرعة تتجاوز سرعة الضوء، أضف إلى ذلك تجربة ميكلسون - مورلي التي أثبتت لنا على أن سرعة الضوء مستقلة تماما عن إطار الاسناد، والتي تم حسابها بالفعل وتساوي ٣٠٠٠٠٠ كم/ثانية (C= 300,000 Km/s). والتي يجب أيضا أن تؤخذ على أنها الحد الأقصى لكل السرعات المعروفة.

في عام ١٩٠٥ جاء آينشتاين بثمرة استنتاجه النادر الخالي من أيّ شوائب، وطوره بعدما أعاد تفحصه، تلك المبادئ التي قلبت الفيزياء التقليدية

رأسا على عقب. وهكذا يبدو أنه احتفظ بمفاهيم معينه وأعاد صوغ مفاهيم أخرى.

فالنظرية النسبية الخاصة يمكن تعريفها على أنها ذلك المجال الذي أعاد تعريف الفيزياء التقليدية والذي أحدثه هو اكتشاف الحد الأقصى للسرعة التي تؤثر في الكون برمته، وهكذا احتفظ آينشتاين بمبادئ جاليليو النسبية، تلك المبادئ التي قادت جاليليو نفسه في مؤلفه «الحوار المتعلق بالعالمين الرئيسين» Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo الصادر في عام ١٦٣٢ أن يثبت على «أن الفراشات الموجودة على سطح سفينة تطير جيئة وذهابا بنفس الطريقة - بغض النظر - عما إذا كانت السفينة ساكنة أو متحركة في طريقها من البندقية إلى اليبو» ، ويمكن أن يستنتج من هذا، أنه عندما تدور الأرض فإننا لا نلحظ حركتها. ولكن آينشتاين هو الذي حرر الفيزياء من قيد خاصية «المطلق» حول فكرة «التزامن» التي كانت مقبولة عند كل من جاليليو و نيوتن. كلاهما افترضا آنية الحدثين، اللذين لم يحدثا في نفس المكان (أيّ في مكانيين مختلفين) يتمتعان بحس مطلق - أيّ أن إشارتهما تستقبل في نفس اللحظة من قبل الراصد مهما كان موقعه. ولذا دعت الحاجة إلى إعادة صوغ مبادئ النسبية نفسها وتطوير أول «نظرية» للنسبية.

لقد كان الزمان والمكان في الفيزياء التقليدية مستقلين تماما عن بعضهما، فالمكان ثلاثي الأبعاد والزمان لا يعتمد على مكان إطار الإسناد: ويمكن تعريف «الآن» على أنها الآن في كل مكان - أيّ تبقى هي إياها - ويقال أيضا بأن الزمان هو لا موجه مكاني Spatial scalar. وبالمقابل فإن الزمان بالنسبة لآينشتاين هو بعد رابع «للزمكان» Space - time إنه نسبي بالنسبة إلى إطار الإسناد للزمكان. لذا فإنه من المناسب جدا إعادة صياغة مفاهيم الميكانيك بالكامل ومن ضمنها مبادئ النسبية.

وكما أن النقطة في المكان تبدو الآن «حدثا» متميزا في الزمكان، والذي يمكن تمثيله بأربعة أعداد: التاريخ وثلاثة إحداثيات للمكان، أيّ مكان حدوثه. إنه من الواضح تماما إعادة تعريف تحويلات الحركات المستقيمة المنتظمة كما كانت تتصور منذ أيام جاليليو وذلك بإدخالها في إطار الزمكان وليس فقط في المكان وحده، لأنه بدلالة الزمكان يمكن التحدث الآن عن النسبية.

لقد تم تعميم النسبية الجاليلية Galilean، وثمة ثمن باهض لهذا الابتكار النظري، أنه الزمن قبل كل شيء، الزمن كاحداثي لم يعد يلعب دور اللا متحول (فلا طائل بعد الآن أن يلعب دور اللا متغير/اللا متحول) وبالمثل بالنسبة إلى قياس المكان. فطول المسطرة مثلا يظل ثابتا في الفيزياء الكلاسيكية مستقلا عن إطار الإسناد، ولكن تمشيا مع خط آينشتاين فنحن نعتبر عناصر المكان الثلاثة بموجه رباعي الاحداثيات وهذه الحالة لا طائل منها، والآن فقياس أو «قياس» الموجه Vector الذي يصل بين نقطتين يمكن أن يتغير إذا ما تغير الإسناد الزمكاني. لأن الطريقة التي يتغير فيها قياس الزمان والمكان هو نتيجة تغير إطار الإسناد للزمكان مع مراعاة ثبوت سرعة الضوء.

لم يتوقف آينشتاين عند هذا المنطلق المثمر: فحتى الكتلة لم تعد تبدو ثابتة، وهكذا أعيد النظر في قانون نيوتن الذي يربط الكتلة والعجلة والقوة ونحن نعلم بالضبط لماذا؟ لنبدأ مع اقتراح آينشتاين بخصوص نص هذا القانون: أيّ عندما تبذل قوة لتحريك جسم كبير فإن العجلة المكتسبة لهذا الجسم تتناسب تناسباً طردياً مع هذه القوة وعكسيا مع كتلته. هذا القانون النيوتني قابل للتطبيق تماما، ولكن عندما تكون سرعة الجسم صغيرة جدا إذا ما قورنت بسرعة الضوء.

وحيث أنه ليس ثمة جسم في هذا الكون قادراً على أن ينطلق بسرعة تفوق سرعة الضوء، فعندما تقترب سرعة هذا الجسم من سرعة الضوء فإن الطاقة

الممنوحة إلى الجسم تكون بالضرورة قادرة على إيقاف العجلة - وهذا محال إذا ما أخذنا بالتعريف نفسه. فليس هناك سوى حل واحد هو أن هذه الطاقة تزيد من كتلة الجسم مع احتفاظ عدم تجاوز السرعة القصوى.

ويمكن التعبير عن هذا بمعادلة آينشتاين الشهيرة (E= mc) حيث E هي الطاقة الكلية للجسم m و c هي سرعة الضوء، فلهذا فإن الكتلة لا طائل أن تكون ثابتة بل تعتمد في تغيرها على سرعة الجسم.

تعرف الكتلة الثابتة invariant mass على أنها كتلة الجسم لأيّ إطار إسناد أو في السكون. وبالنسبة للجسيمات، كالفوتونات مثلا، أو الجسيمات الصغيرة جدا، فإنه لا يمكن أن تكون ساكنة بل دوما في حركة وبسرعة الضوء، فعندئذ تكون الكتلة الثابتة مساوية للصفر. أما بالنسبة للفوتونات فإن طاقتها تتفاوت. فيمكن أن تكون أقل أو أكثر، أيّ ذات طاقة متدنية وأخرى كبيرة فلها في الواقع كتلة حقيقية effective mass والتي - تبعا لمعادلات آينشتاين - تساوي خارج قسمة طاقات الفوتونات إلى مربع سرعة الضوء[1].

يستحيل على المرء إذ لم يعجب بقدرة آينشتاين الاستنتاجية الثاقبة. وبالمنطق الاستدلالي وحده أصبح آينشتاين قادرا على التوصل إلى نتائج مضامينها التجريبية التي وضعت تحت الاختبار عدة مرات وتم التحقق منها. فعلى سبيل المثال، الحقيقة التي تقول بأن الجسيمات لا يمكن أن تتجاوز سرعة الضوء، و ذلك عندما تسارع (تعجل) accelerated لقد تم تحقيقها يوميا في المعجلات الكبيرة. (في الواقع أن الجسيمات لا تسارع ولكن تزود بطاقة أكبر) وأن الدقة

---

١- بعض الكتاب كالفيزياتي السوفييتي ليف أكون Lev Okun الذي أدين الى أقتراحه الذي وجهه الي على أن الكتلة الثابتة لها معنى فيزيائي دقيق و أن أستخدام مصطلح » كتلة« يجب تحاشيه عندما نتطرق الى تحديد كتلة أخرى مهما تكن.

التي تدور فيها حزم الجسيمات في هذه المعجلات، قد تم التلاعب بها بالفعل وتأكد لنا بأنه لا يمكن لها أن تتجاوز سرعة الضوء.

ونعود الآن إلى نظرية النسبية الخاصة التي تسمح لنا بتحديد عدم ثبوتية كل من الزمان والمسافة والكتلة، فهذه المتغيرات الفيزيائية هي في حد ذاتها نسبية إذا ما أخذناها إلى مجموعة الإسناد.أيّ أنها نسبية إلى إطار الإسناد.

وليس ثمة أثر للمذهب النسبي في هذا النص. وكما أشار فكتور فيسكويف Victor Weisskopf لأول مرة إنه بحوزتنا الآن نظرية تسمح لقوانين الفيزياء أن تصاغ دون الاعتماد على إطار الإسناد بصورة مطلقة تماما.

## ثوابت النسبية العامة مع اعتبار آنية (G c):

عادة ما تؤخذ النسبية العامة على أنها امتداد للنسبية الخاصة: ولقد كانت نظرية آينشتاين الخاصة لعام ١٩٠٥ هي التي دفعت طموحه وجعلته يسهب في نقد نيوتن - إن التطور التاريخي ومعجم المفردات وكذلك المقررات الدراسية تقترح بشدة على آن النظرية النسبية العامة انطلقت من دحض عميق لفكرة «الفعل الطارئ لمسافة ما». في الواقع بعدما حاول آينشتاين تبني هذا الاتجاه، انكب أخيرا على اتجاه آخر. ولقد هداه تفكيره كما يبدو إلى انشغال آخر كان موجودا في أعماله الأوليه: وهي الرغبة في تبسيط المفاهيم، لقد فكر أيضا في إعادة صوغ قوانين تحكم جميع القوى دون الرجوع إلى إطار الإسناد المعمول به، لأن التفسير التقليدي لنظام الاحداثيات - أيّ نقطة الأصل ومحاورها - يسمح لموقع النقطة المراد وصفها في المكان. وبتعبير آخر يمكن القول أن آينشتاين تطرق لفكرة «الثبوتية» على أنها ناتجة عن التغير العام لاحداثيات إطار الإسناد.

لقد افترض آينشتاين نظرية التكافؤ بين القصور الذاتي للكتلة - وذلك لغرض تحديد هذه الثبوتية التي يمكن تحديدها بقياس العجلة الناتجة عنها وأيّ قوة - وجاذبية الكتلة أو الوزن المحتواة في قانون الجاذبية. وهذا يقودنا إلى الاستنتاج التالي: وهو أن العجلة الناتجة عن الجاذبية تكون مستقلة تماما عن الكتلة، فالثابت (G) إذن هو الآخر مستقل عن الكتلة وهكذا افترض آينشتاين ذلك لأجل إكمال برنامجه حول ثابت الجاذبية نفسه من حيث ضمنيته بصرف النظر عن الكتلة نفسها. وبهذا يكون وضع ثابت نيوتن قد تم تعديله معطيا دلالة فيزيائية كبيرة.

كان آينشتاين على ثقة تامة عن تصوره العام للفيزياء، وتبعا لذلك فإن قوانين الطبيعة هي في حد ذاتها خالية من التعقيد وأنه من الممكن صوغها بمعزل عن إطار الإسناد. وهذا مساو تماما لاتخاذ خطوة أخرى جريئة كتلك التي قادته إلى النسبية الخاصة.

وفي الواقع فإنه ضمن إطار هذه النظرية فإن القوانين تم صوغها باستقلال تام عن إطار الاسناد للقصور الذاتي أيّ بمعزل عن أيّ إطار إسناد يتضمن الحركة المنتظمة على خط مستقيم.

لقد اقترح آينشتاين معمما من خلال افتراضه على أن هناك تكافؤاً بين القصور الذاتي للكتلة والكتلة الجاذبة (الوزن). ولنرَ الآن تجربة آينشتاين النظرية المعروفة «تجربة مصعد آينشتاين»: تصور أن مختبرا وضع في صندوق متحرك في الفضاء تدفعه قوة ثابتة عمودية على أحد جانبي الصندوق تقوم بمثابة تسارع للحركة. تصور أيضا بأنك داخل هذا المختبر، فإن تسارع الصندوق ناتج إذن عن وجود هذه القوة والتي تبدو لنا كتسارع منتظم لإطار الإسناد، عندئذ ستلاحظ بأنك في حالة جذب إلى جانب الصندوق عموديا وفي عكس اتجاه القوة، وهكذا فإنه ليس هناك ما يسمح لك بالبقاء ومن ثم لن تسقط في اتجاه

النجم الذي يجذبك بعجلة مساوية ومعاكسة لتلك المحمولة إلى الصندوق. وهنا يجب أن نتطرق إلى فكرة «المجال» Field. تعود هذه الفكرة إلى أعمال الفيزيائي مايكل فراداي Michael Faraday (١٨١٧-١٨٦٧) و جميس مكسويل J.Maxwell الذي أدخل مفهوم «مجال الكهرومغناطيسية» وذلك للتغلب على الصعوبة الناتجة عن تفسير القوى المؤثره على الشحنات الكهربائية المتحركة.

لقد كان لورنتز Hendrik Antoon Lorentz (١٨٥٣-١٩٢٨) أول من حاول التوفيق بين الميكانيك النيوتني ونظرية المجال لمكسويل. ولقد نجح آينشتاين هو الآخر في توحيدهما وذلك باللجوء إلى أساسيات الميكانيكا التقليدية: وهكذا تم استبدال القوة بالمجال والذي يمكن وصفه بالمعادلات التفاضلية.

فالنسبية الخاصة تسمح بالقوى على نمط مجالات، وهي تعتمد أيضا على نظرية مجال الجاذبية فهو الآخر ينقل نفس العجلة إلى كل جسم بصرف النظر عن كتلته. وإن تأثير أيّ مجال جاذبي يمكن إذن أن يستبدل عن طريق التغير في إطار الإسناد ذي العجلة المنتظمة، وبالعكس فإن أيّ تغير في إطار الإسناد من هذا النمط يمكن أن يستبدل عن طريق المجال الجاذبي. ويبدو ممكناً تماماً أن تصاغ نظرية للجاذبية تكون ثابتة تحت تغير الاحداثيات المحتواة على العجلة، وهذا في الواقع لب النظرية النسبية «العامة».

سنتطرق الآن إلى «تجربة افتراضية» جديدة لاستكشاف المضامين الهائلة لهذه النظرية. لنتصور بأن هناك مختبرا يتحرك بحرية في اتجاه نجم هائل، وليكن بداخل هذا المختبر تجربة بسيطة تقوم بمثابة مصدر لإشعاع الليزر والذي ينتشر أفقيا. عندئذ سنكون في وضع يسمح بأن تكون جميع الأجهزة الموجودة في المختبر (المذكور في مصعد آينشتاين) قد تصل إلى مرحلة انعدام الوزن، والسبب في ذلك هو إحلال الجاذبية محل القصور الذاتي ولا طائل اذن لأيّ قوة أن تبذل عندئذ.

ويمكن تطبيق النظرية النسبية الخاصة على إطار الاسناد المتصل بالمختبر فقط وفي هذه النظرية أيضاً ينتشر الضوء في خطوط مستقيمة ولكن الوضع ليس هو نفسه عندما يرتبط إطار الإسناد بالنجم: ففي لحظة يكون بمقدورنا أن نعلم بالضبط بأن مسار الضوء ليس مستقيما وإنما مسار شبيه بالقطع المكافئ Parabolicخلافا للواقع فإن الضوء القادم من النجوم سيتخذ مسار قطع مكافئ، وليس مستقيما، عندئذ يمكن القول بسقوط الضوء the light fell والذي لم يدهش آينشتاين عندما حدد بأن الضوء يحمل طاقة، وأن هذه الطاقة تكافئ الكتلة وحيث إن القصور الذاتي للكتلة يكافئ كتلة الجذب (الوزن) فإن طاقة الضوء تخضع إذن لفعل الجاذبية.

ومهما يكن في الأمر فإن آينشتاين يضيف قائلا، حيث إن سرعة الضوء ثابتة فلا بد للضوء أن ينتشر بهذه السرعة بغض النظر عن إطار الإسناد. إذن، إذا كان مساره منحنيا - كما تم افتراضه في التجربة الأفتراضية السابقة - وجب علينا أن نضع نصب أعيننا بأن سرعة الضوء لا يمكن أن تكون ثابتة! لقد استطاع آينشتاين التغلب على هذه الصعوبة منوها بالحل الآتي: كلا، يجب أن نأخذ بثبوتية سرعة الضوء.

إن التغيرات على خطوط العرض altitude ليس لها علاقة بسرعة الضوء، ولكن سيكون على قياس الزمان والمكان (أو قياس الزمكان): فطول المسطرة وعمل الساعة مثلا يعتمدان على الارتفاع altitude وليس على فعل سرعة الضوء!

والاستنتاج واضح وجريء في الوقت نفسه: فإذا كانت الجاذبية تكافئ القصور الذاتي للقوى، فإنه يمكن إهمال الجاذبية إذن - وبالمثل بالنسبة إلى النجم - ونسلم بالأمر على أن وجود النجم يتمثل بتعديل في قياس الزمكان. وهكذا فإن التمثيل الهندسي للجاذبية الذي اقترحه آينشتاين مساو تماما لانحناء الزمكان. وتبقى المشكلة إذن في غياب «الفعل الطارئ لمسافة ما» الذي لم يكن

معروفا آنذاك. لأن تقوس أو انحناء الزمكان الذي يساوي الجاذبية هو في حد ذاته «متغير» variable: لأن مجال الجاذبية يمكن أن يستبدل محليا بالقصور الذاتي للقوى، فليس ثمة سبب يمكن استقراؤه من هنا أو من أيّ مكان آخر، لأن ثمة تعارض بين «الآن» و «في كل مكان».

أما التفاعلات التي هي في حد ذاتها قوى مبذولة بواسطة المجالات، فإن انتشارها يستغرق زمنا ماديا وعمليا، ومن هذا المنطلق أعطى ماخ شرحا واضحا لهذه الحقيقة، قائلا فإذا درت من حولك فإن ذراعيك ستمتدان، أما إذا أدرت إلى السماء المرصعة بالنجوم، فيبدو لك بأن السماء هي التي تدور وهي التي تجذب ذراعيك وهذا هو عين الخطأ لأن ما تفعله محليا ليس هو الواقع الذي يجعل النجوم تدور!

لقد استخدم آينشتاين هذه الصوره التوضيحية كي يؤكد على أن «من الممكن دائما وفي كل مكان التعويض عن الجاذبية وذلك بتغير إطار الإسناد محليا فقط».

ودعونا الآن نسير على خُطا آينشتاين ولنرَ كيف صاغ القوانين الفيزيائية بأسلوب رائع وذلك من خلال التغير العام للإحداثيات. ويجب أن لا تخيب آمالنا لنؤكد على أن ما تم التوصل اليه كحقيقة قد أثار فضول آينشتاين ودهشته. وكما لاحظنا سابقا من خلال سعيه المتواصل وطموحه المستمر استطاع أن يجعل شروط الملاحظة في غاية من التجريد، ولقد تم بالفعل إنجاز هذه المهمة في نظريته العامة، وإضافة إلى ذلك تحقق اكتشاف النظرية النسبية للجاذبية العامة!

ولقد أخذ في الحسبان فكرة التقريب على سبيل المثال للثابتين G وc في النظرية العامة، ومتى تم إهمال G فإننا نلتقي بالنسبية الخاصة، والفكرة الأخرى للتقريب هو أن تؤول c إلى ما لا نهاية عندئذ نصل إلى نظرية الجاذبية

النيوتنية. ويمكن تعليل النسبية العامة على أنها النظرية التي تكون فيها G غير مساوية للصفر وc غير مساوية إلى اللا نهائية.

ونعود الآن إلى فكرة «سقوط الضوء» التي أشرت اليها سابقا في التجربة الافتراضية، والطريف في هذا الأمر هو ما تم تحقيقه تجريبيا عام ١٩١٩ أثناء خسوف الشمس، وتبعا للحسابات التقليدية للنجوم لا بد وأن تحجبها الشمس، ولا بد أن تكون أيضا مرئية! الحقيقة التاليه تفسر لنا سبب هذه الملاحظة وهو أن الضوء القادم من النجوم ينحرف نتيجة مجالات الجاذبية للشمس.

ومنذ تلك اللحظة، بدأت تحقيقات النسبية العامة تأخذ تطورا ملموسا، فعلى سبيل المثال يمكن إثبات على أن الزمن ليس هو في الدور الأول لمبنى ما كما هو في الدور العلوي (أيّ أن مرور الزمن على سبيل المثال يختلف من مستوى إلى آخر) وذلك لاعتماده الكلي على مجال الجاذبية وبالطبع، يبدو الأمر في غاية الغرابة - يمكن تمييزه بوضوح فقط في الخانة الخامسة عشرة العشرية - أيّ أنه مهما كانت ضآلة الكسر العشري يبقى ذا معنى ودلالة، ويكون نوعا ما دقيقا وأكثر دقة (ربما الضعف) هذا إذا ما قورن بالزمن على سطح الأرض أو على سطح نجم نيوتروني !

تصور نجما صغيرا جدا، بالتأكيد فإنه يحتوي على كتلة (مهما صغر حجم النجم فإنه لا بد وأن تكون له كتلة)، ينتج عن هذا النجم مجال جاذبي شديد للغاية، وافترض أيضا بأن شدة هذا المجال التي تكون سرعة الضوء عنده أقل من سرعة الانفلات نجد أن الضوء يصد ولا يستطيع الانفلات، يقال إذن بأن النجم هو «ثقب أسود».

إن الفوتونات المنبعثة في اتجاهنا بواسطة الثقب الأسود تتراجع وتسقط في مركز الثقب ويبدو لنا تفردا في الزمكان. ففي هذه الحالة تكون فيه معادلات

النسبية العامة عاجزة عن القيام بوظائفها على الرغم من سريان مفعولها. وهناك أيضا سطح الزمكان الذي نطلق عليه «أفق» الثقب الأسود والذي تختفي فيه سرعة الضوء (لأن الفوتونات عندئذ تعيد رسم مساراتها)

ويجب أن تعامل سرعة الضوء على أنها ثابتة لا تتغير، وأن لا تتغير أبدا مهما اختفى الشيء، وأن نفترض أيضا أن الزمن الذي هو نسبي إلى إطار الإسناد يتوقف تماما في حيز الثقب الأسود! وحيث إن النسبية العامة لا تقف بالمرصاد للثقوب السوداء بل تسمح بوجودها فكذلك تسمح بوجود هذه الآفاق التي يتوقف عندها الزمن.

تطبق نظرية آينشتاين النسبية على كون خال من تلقاء نفسه من الجاذبية، ولقد حاول آينشتاين بالفعل وكان راغبا في كون ساكن (استاتيكي) ولكن معادلاته لا تسمح بذلك، ولهذا الغرض حاول إدخال «الثابت الكوني» كي يقوم بدوره من أجل كون استاتيكي.

وقد لوحظ فيما بعد بأن الكون في حالة تمدد تام، وأن معادلات آينشتاين يمكن تطبيقها على هذا النموذج الجديد دون الحاجة إلى استخدام هذا الثابت، ووصف الحدث عندئذ بأنه «أكبر كارثة واجهته في حياته». بهذه الطريقة ولد النموذج الكوني والذي يعتبر اليوم «نموذج معياري» لعلم الكونيات (الكزمولوجيا).

وإن أحد الملامح الطريفة في هذا النموذج أنه يحتوي على «التفرد» الذي يبدو شبيها بتلك التي تم اكتشافها في مركز الثقب الأسود، ولكن الفارق هو أن في الثقوب السوداء وجودها في المستقبل بينما في الانفجار الأعظم وجودها في الماضي (الأولى في مستقبل الأفق والأخرى في ماضيه).

ومهما يكن في الأمر، فإنه توجد دائما حدود بيننا وبين التفرد، والكون في تمدد دائم، وكلما بعدت المجرات عنا زادت سرعتها، أيّ أن سرعة المجرات تزداد بازدياد المسافة عنا وهكذا، وعند مسافة معينة تكون سرعة الانفلات مساوية لسرعة الضوء وهذا يعني بأن الضوء المنبعث من هذه المجرات سوف لن يصل أبدا: وأن سطح الزمكان سيدلنا على: متى تبدو لنا السرعة مختفية أو منعدمة وأين يتوقف الزمان.

هذا ما أردت إثباته بكل وضوح وما أقترحه هو: أن الثابتن G c يمثلان الحدود المطلقة وكلاهما لا يمكن تحديدهما في أيّ مكان.

# الثابتان K و h والكمومية (الكوانتم)

لقد أتاح لنا الثابتان G و c رؤية العالم اللا نهائي في الكبر وكذلك علاقاتنا التي تربط هذا العالم بأكمله. على الرغم من أن هذا الكون يبدو لنا كسلسلة من التركيبات المتداخلة التي تمتد أحجامها بمقادير كبيرة قد تصل إلى أضعاف مضاعفة؟

وإذا ما سبرنا غور عالم اللا نهائية في الصغر فإن أول ما يخطر على بالنا السؤال التالي: إلى أيّ مدى تمتد هذه التركيبات المتداخلة وما هو أقصى حدودها وهل ثمة نهاية إلى تقسيم المادة؟ إن هذا السؤال ليس غريبا علينا لقد سبق وأن طرحه الأقدمون ولكن لا يزال يثير حماس الفكر الفيزيائي المعاصر وفضوله.

## إحصاء الديناميك الحراري وثابت بولتزمان (k):

نعلم بأن أحد إنجازات الفكر البشري العظيمة هو «النظرية الذرية» التي تمتد جذورها إلى القرن الخامس قبل الميلاد على يدي ليسيبوس Leucippus و ديموقريطس Democritus اللذان افترضا وجود نهاية لتقسيم المادة. وما أعمال الفيزيائي النمساوي لودفيغ بولتزمان Ludwig Boltzmann (١٨٤٤-١٩٠٦) إلا معالجة دقيقة لهذه الفرضية إن لم تكن تجاوزا لنتائجها.

يطلق على هذا الثابت الجديد «ثابت بولتزمان» الذي جاء نتيجة جهود الباحثين المتواصلة في تطبيق القوانين الميكانيكية على أعداد كبيرة من

الذرات. ومن هذا المنطلق تم اكتشاف هذا الثابت نتيجة الأعداد الهائلة «لدرجات الحرية» التي تتحكم بالنسق تحت اعتبارات عدة. ومن ثم لن تكون إعاقة للنظرية بل يمكن اعتبارها على أنها شقت طريقا جديدا في غاية من البساطة. وبصورة عامة يمكن أن تؤخذ «درجة الحرية» على أنها مؤشر (معلم) Parameter لأيّ نسق يمكن أن يتغير بصورة مستقلة عن المؤشرات الأخرى، ويمكن أن يكون أيضا موقعا لنقطة ما على الاحداثي في المكان (الفضاء) Space وكذلك في تعيين زاوية ما.... الخ فأيّ نسق عندما تكون درجة حريته مساوية للصفر، يكون إذن عبارة عن نقطة ساكنة معزولة. فهذا الوضع يبدو مثاليا نوعا ما ولكن وجوده ليس ممكنا، وعندما تكون درجة حرية نسق ما مساوية للوحدة فإن الجسم يكون غير متصل discrete يتحرك على الخط المستقيم.

تصور الآن نسقاً يحتوي على صندوق به غاز، وإذا ما أخذنا بمفهوم النظرية الذرية فعندئذ يمكن أن يقال بأن الغاز يتكون من جزيئات ويمكن تحديد موضع كل جزئ بالإحداثيات الثلاث والتي تمثل بالتالي ثلاث درجات حرية. أما الأعداد النمطية للجزيئات المحتواة داخل صندوق مرئي (مكروسكوبي) فلقد حددها الكمياتي والفيزيائي الأيطالي أفوجادرو Amedo Avogadro (١٧٧٣-١٨٥٦) بالآتي: عند حجم وضغط محددين وتحت شروط حرارة معينة يكون الثابت مساوياً 6.022 X 10. ويمكن أيضا تحديد رتبة (درجة) order مقدار أيّ عدد من درجات الحرية لأيّ نسق، وبالتأكيد سيكون هائلا: ولكن هذا النسق الذي يحتوي على الأعداد الهائلة من درجات الحرية يمثل في حد ذاته خصائص مكروسكوبية (مرئية) يمكن بالتالي فهمها بسهولة ومن ثم يمكن وصفها.

لقد كانت فكرة بولتزمان فذة حول كيفية استخدام هذا المنطق الميكانيكي للوصول إلى هذه الخصائص. ولقد استعمل فكرة صورة (مرحلة) المكان (الفضاء) Phase space وهو عبارة عن فضاء مجرد حيث يكون النسق

نفسه متمثلا بنقطة. فكل نسق يوجد على هذه الصورة يحتوي على أعداد كبيرة من الإحداثيات. وبها توجد أيضا العديد من الإحداثيات وكذلك درجات الحرية. وفي الواقع هناك ضعف ما موجود لأن صورة المكان لا تحتوي فقط على درجات الحرية فحسب بل أيضا سرعاتها، أيّ مشتقات درجات الحرية بالنسبة للزمن.

هذه الفكرة التي استوعبها «الميكانيك العقلاني» أيّ الميكانيك الذي أصبح رياضيا على يد لاكرانج و هملتون كما سبقت الإشارة اليهما كان لا بد أن تستبدل المسائل التي تعطي وصفا لتطور النسق وذلك بدراسة مسار أيّ نقطة توضح هذا النسق في صورة الفضاء المجرد.

وهكذا يمكن أيضا توضيح أيّ نسق مهما كان معقدا تمثيله بنقطة واحدة في الفضاء (المكان) الذي يحتوي على العديد من الإحداثيات، ويمكن تمثيل هذه النقطة بمعادلات الحركة الموجودة في الميكانيكا ولذا تم توطيدها على هذا النمط. وهذه الحركة يمكن أن يتم تقديرها بواسطة هذه المعادلات وبالشروط الأولية أو بأيّ شروط أخرى محدده.

لنتصور الآن الحالة التي سبقت الإشارة اليها: أيّ الغاز الذي بداخل الصندوق، هذا النسق الذي هو عرضة إلى أعداد كبيرة من درجات الحرية. بات من الضروري طبعا أن تكون هناك أعداد من المعادلات اللازمة لحساب تطوره وبلا شك ستكون هذه المعادلات شبيهة بتلك التي تحكم أيّ نسق ميكانيكي آخر. ولكن الصعوبة تبرز أمامنا في كيفية تحديد الشروط الأولية. ولكن يمكن التغلب على هذه المشكلة فقط بأخذ عدة مناطق في «صورة (مرحلة) الفضاء» ومن ثم استخدام منطق الإحصاء الاحتمالي. ويمكن تعريف «حالة الكثافة» Phase density على أنه النقطة التي يمثلها الاحتمال في صورة الفضاء بدقة معينة ويحجم لا متناه في الصغر (وحيث إن صورة (مرحلة) الفضاء تحتوي

على أكثر من ثلاث احداثيات فإنه يمكن أن يطلق على هذا النوع من الحجم الزائد «hypervolume». وهكذا يمكننا الحصول على كافة المعلومات اللازمة لأيّ نسق، فحالة الكثافة تمثل اذن التوزيع الاحتمالي في صورة الفضاء.

ومن بولتزمان Boltzmann إلى آينشتاين ومرورا بجبس Willard Gibbs (١٨٣٩-١٩٠٣) جاءت الفكرة على أن الأعداد الصغيرة فقط من الكميات الفيزيائية مثل الطاقة الكلية والحرارة أو الضغط هي حقا تميز بل تصور لنا تماما الخصائص المكروسكوبية (المرئية) لأيّ نسق كان بينما هناك أعداد لا حصر لها من الأشكال الميكروسكوبية (غير المرئية) يطلق عليها بقع Complexion تعطي نفس الزخم للصورة المكروسكوبية (المرئية).

لنسلم بالأمر بأن هناك أعدادا لا حصر لها من درجات الحرية، ولنتعامل أيضا مع الجزيئات التي تتحرك في جميع الاتجاهات، وأن الطاقة الحركية Kinetic energy للنسق ستكون مساوية للصفر تماما ولكنها ستحتفظ بالطاقة الداخلية، أيّ الحرارة المتعلقة بدرجة الحرارة لأعداد كبيرة من درجات الحرية والتي يمكن حساب متوسطها.

إذن ما هي الكميات الفيزيائية التي يجب أن نتبناها لوصف مثل هذا النسق؟ الطاقة ستكون في مقدمة هذه الكميات لكونها المفهوم الذي يتعامل مع كلا المستويين المرئي وغير المرئي. لنعرف الآن الكميات التي تسمح لنا بالأعداد التي يطلق عليها البقع Complexion الناتجة طبعا عن الوضع المرئي (المكروسكوبي). هذه الكمية تعرف اليوم بالإنتروبي Entropy، أيّ الكمية التي تتضمن كمية فيزيائية من نوع غريب جدا من حيث لا يمكن التعبير عنها باستخدام المتغيرات الفيزيائية الأساسية (كالطول والكتلة والزمن) وأن مضمونها الاحداثي dimensional content يعرف عادة بأنه خارج قسمة الطاقة

إلى درجـة الحـرارة، فهـذه الكميـة تكـون ذات معنـى فقـط في العـالم المكروسكوبي (المرئي).

لهذا السبب يرفض معظم الفيزيائيون اعتبار «الأنتروبي» ضمن إطار الكميات الأساسية، وقد أدى هذا الأختلاف إلى انعطاف حاد جدا لدرجة اعتبار الأنتروبي مفهوما ذاتيا أو هو ذو مضمون ذاتي بحت. وحيث إن المضمون الأحداثي لثابت بولتزمان (k) يساوي الانتروبي (يظهر ثابت بولتزمان من المعادلة E = K T حيث E هي الطاقة و T هي درجة الحرارة وتكون قيمة الثابت اذن K = 1.380 X 10 Joule/kelvin) ، ومن هذا ندرك سبب خلاف أولئك الذين يزعمون في عدم اعتبار K ثابتا عاما كباقي الثوابت الأساسية الأخرى.

يعرف القانون الثاني للميكانيكا الحرارية في عصر بولتزمان بقانون «كارنوت - سالسيس» Carnot-Clausius، والطريف في هذا القانون بأنه ظهر كتعبير عن الاستحالة العملية الناتجة عن تشييد آلة حرارية بكفاءة أكبر أو تساوي ١٠٠٪. لذا استطاع سادي كارنوت Carnot أن يكتشف أن الحرارة لا يمكن أن تتحول إلى طاقة دون فقدان جزء منها.

لقد افترض كارنوت في بحثه «انعكاسات على القدرة المحركة للنار والميكانيك لغرض تحسين تلك القدرة» ( Reflections on the Motive Power of Fire and on Mechanics to develop that power) على أن أيّ عملية ميكانيكية يصطحبها فقدان في الطاقة على شكل حرارة. ولا شك بأن هذا المبدأ يلغي التناسق الزمني الذي لا يمكن رفضه في الميكانيكا التقليدية لأنه بمثابة موجه للزمن. لأن الزمان الآن ذو اتجاه محدد لكونه ينطلق في اتجاه تزايد الأنتروبي.إن السمة الأساسية في نجاح بولتزمان هي صياغته ومن ثم التعبير عن هذه الزيادة بصورة كمية وبدقة متناهية لدرجة أن هذه الزيادة حتمية في الأنتروبي، وهذا ناجم عن فقدان المعلومة عندما يتم وصف النسق باستخدام الكميات الفيزيائية

الماكروسكوبية (المرئية). ويمكن توضيح هذه الصورة بالحقيقة التالية: وهو عندما تكون درجات الحرية كبيرة جداً، توجد هناك أعداد لا حصر لها من البقع complexion تكون قادرة على أن تعطي نفس الخاصية الماكروسكوبية (المرئية) ومن ثم لا يمكن تقديرها، وهكذا تبدو الأنتروبي كمعلومة مفقودة. ومهما يكن الأمر فيجب أن لا تخدعنا أو تستهوينا هذه اللغة العصرية: لأن التفسير المعلوماتي للانتروبي تمت صياغته بوقت طويل بعد بولتزمان نفسه وضمن إطار النظرية التي كانت في البداية ليس لها أيّ صلة بالميكانيكا الحرارية، وهكذا طورت النظرية المعلوماتية في عام ١٩٤٨ على يد كلود شانون Claude E.Shannon المهندس الذي كان يعمل في «مختبرات بل للاتصالات الهاتفيه». وبناء على هذه النظرية الشهيرة فإن مضمون المعلومة لرسالة معينه يمكن التعبير عنها بالأنتروبي الاحصائية. وإذا كان في مقدورنا الإدلاء بهذه المعلومة، فإن مضمون الاحداثي للأنتروبيا يعرف عادة بالميكانيكا الحرارية ويقال عندئذ بأن الأنتروبيا الإحصائية يقابلها احتمال محدد. والاحتمال كما هو معروف كمية رقمية من دون أبعاد، لذا كان من الضروري إضافة ثابت، هذا الثابت هو «ثابت بولتزمان» (K). وبتعبير آخر فاذا ما تم استخدام ثابت بولتزمان في نص القانون الذي يصف الأنتروبيا الإحصائية وباستخدام الاحتمال فإنه يمكن أن يقال بتماثل أو تطابق الأنتروبيا الإحصائية و أنتروبيا الميكانيكا الحرارية.أريد أساسا أن أتفادى المفارقة التاريخية Anachronism حول إطار الزمن لهذه الأحداث حتى لو كانت الفكرة في متناول يد بولتزمان عن الأنتروبيا الأحصائية، فإنه لن يصل إلى النظرية المعلوماتية. ولا شك بأن أعمال بولتزمان كانت منتظرة بعض التعديلات بحيث تسمح لنا بتفسير ثابت بولتزمان كمعلومة كوانتية.و ما نصبو إليه حاليا هو القبول بالنظرية الذرية وجعلها متوافقة بل منسجمة مع الميكانيكا الحرارية كما طورها كارنوت و سالسيوس مع الميكانيك العقلاني وذلك باستخدام مفهوم الأنتروبي الذي يعطي تفسيراً إحصائياً. وكما كان ثابت نيوتن سائداً في عصره، يبدو لنا ثابت بولتزمان للوهلة الأولى

كمضمون نفعي: أيّ هو الدالة الوحيدة التي باستطاعتها أن تربط النظرية الذرية والميكانيكا الحرارية في قالب واحد هو ثابت بلانك (h) وكموم الفعل

## ثابت بلانك h كفعل كوانتي (كمومي)

غالبا ما يقال بأن ثابت بلانك ناجم عن ظهور في المادة غير المتصلة وهذا في الواقع ما أريك الفيزيائين دائما وأبدا. وفي الواقع فإن مفهوم التقطع (اللا اتصال) الذي اكتشفه الفيزيائي الألماني بلانك ليس له أدنى تأثير على المادة بل على التداخل بين القوى ببعضها بعضاً. والمثير للدهشة هو أن النظرية الذرية لا تزال موضع نقاش وجدل مستمرين حتى مع بداية هذا القرن، فهي ليست سوى فرضية عن تقطع المادة وليست خاصية جذرية لها: لذا صنفت ضمن إطار الميكانيكا الحرارية وكان لهذا الأثر العميق في نتائج كبار الفزيائين الذين هداهم السبيل وفتح لهم أفاقا جديدة.

ولكن فكرة التقطع (اللا اتصال) تكمن فيما يطلق عليه اليوم التفاعلات interactions، أيّ في القوى التي لا يمكن استيعابها بسهولة مما سبب أزمة حقيقية في الفكر الفيزيائي! فما هي الفكرة التي نحملها عن القوة إذن؟

الفكرة في حد ذاتها ورثناها عن نيوتن وتقول: بأن القوة يمكن أن تؤول دوما إلى الصفر، والخاصية المستمرة عن القوة تبدو جزءا من تعريفها أو في مفهومها، فعلى سبيل المثال ما حدث بالفعل بالنسبة لقوة الجاذبية وبالمثل أيضا بالنسبة للكهرومغناطيسية التي وصفتها معادلات مكسويل عام ١٨٦٥. وجد الفيزيائيون أنفسهم ومن ضمنهم بلانك بأنهم مجبورون على إعادة اختبار القضايا التي كان يعتقد بأنها محلولة ومحسومة من قبل نيوتن و ليبنتز و ديكارت ومن لحقهم من مفكري القرن السابع عشر.

لنسلط الضوء على القضايا الصعبة والأفكار الفذة (البطولية) التي حققت النصر، وسنلجأ الآن إلى اللغة التي يتحدث بها فيزيائيو هذا العصر، وأنه لجائز لنا ومن الضروري التحدث عن «التقطع» من خلال مفهوم القوى، فهذا ليس مفهوما بل كما أود أن أقترحه، عبارة عن «فئة» تحدد في الفراغ «in vacuo» حيث كل شيء متضمن في تشكيل الهيكل - أيّ في تطوره واستقراره أو في اختفائه.

هذه الفكرة تستخدم على نطاق أوسع وأعم ويقال - إذن - بأن الكون عبارة عن سلسلة من التركيبات المتداخلة بعضها ببعض ويمكن أيضا أن يقال بأن كل شيء ناجم عن القوى. وهكذا فإن الأشعاعات الكهرومغناطيسية تنتمي إلى فئة القوى وهذا بدوره مسألة في الميكانيكا الحرارية كما صرح بها بلانك.

ونحن نعلم كم كانت هذه المسألة غريبة ومدهشة جدا عندما واجهت بلانك: مسألة «الأشعاع الأسود» وبناء على مبادئ الفيزياء التقليدية فإن انبعاث وامتصاص المادة للضوء يكون مستمرا تماما، وأن كمية الطاقة المشعة يجب أن يكون سريانها مستمرا مثل حركة السوائل، هذا ما لاحظه بلانك في حالة الصندوق المغلق الذي يكون قادرا على امتصاص كل الإشعاعات بصرف النظر عن التردد، ولكن في وضع معين من درجة الحرارة فإنه يبعث إشعاعا متقطعا، بقيم غير متصلة تسمى «الكوانتا» Quanta

فعند قوة معينة يكون الإشعاع ذا خاصية متميزة بل طبيعة موجية بالأحرى، ووجد أنه يتمتع بخصائص أحتفظ بها مسبقا في ظواهر الميكانيكا الحرارية. ويمكن التغلب على هذا التناقض بتصور أن الطاقة الكهرومغناطيسية تنقل بواسطة «جسيمات» أيّ أن الطاقة تتناسب مع تردد الأشعاع وأصبح بمثابة دور نظري للثابت الذي صاغه ماكس بلانك: من خلال المعادلة الشهيرة $E = h\nu$

التي تربط الطاقة بالتردد، حيث E هي الطاقة و v هو التردد و h هو ثابت بلانك الذي يساوي $6.622X10^{-34}$ Joule - sec

لقد هزت هذه الثورة الجذرية الكيان الفيزيائي برمته. تلك الشرارة التي انطلق بها ماكس بلانك مما أثارت جرأة وحماس الشاب البرت آينشتاين حول تفسير بلانك للثابت h وذلك عن طريق تقديم مفهوم التقطع إلى القوى، فمنذ عام ١٩٠٠ إلى ١٩٠٥ حاول آينشتاين في هذه الفترة أن يعالج الأشعة الكهرومغناطيسية كجسيمات مادية ذات تقسيم نهائي، ولقد تغلب بالفعل على هذه الصعوبة مستنجدا بالتفسير الميكانيكي للنظرية الموجية للكهرومغناطيسية ومقترحا التقديرات الاحصائية للأشعة. ولكن السؤال الذي يطرح نفسه هنا هو كيف تطبق هذه النتائج على الموجات؟

يبدو في بادئ الأمر بأن الإجابة عن هذا السؤال في غاية الاستحالة تماما في غياب جسيمات الضوء (الفوتونات) المفترضة.

وهكذا فإن التجريب قد تجاوزالتخمينات ليؤكد لنا الاستنتاج المنطقي، لأن المواجهة بين النظرية وأشعاع الجسم الأسود قد برزت أمامنا وكذلك المسألة التي يطلق عليها «ظاهرة» (تأثير) الكهروضوئية Photoelectric effect التي ظهرت أمامنا على تخوم التردد. فالجسم الكهروضوئي يبعث تيارا عندما يتوهج بالإشعاع ولكن كل هذه الأمور تحدث عند حد معين من التردد، فمن دون ذلك لن نحصل على التيار حتى لو زادت شدة الإشعاع، وفوق هذا التردد - يعتبر بداية تخوم التردد - ويمكن الاحتفاظ بالتيار حتى عند انخفاض شدة الإشعاع. وإن أول من صرح بفكرة الطاقة المشعة التي تحمل بواسطة جسيمات أطلق عليها الفوتونات هو ألبرت آينشتاين في عام ١٩٠٥ والتي يمكن وضعها بصورة المعادلة الآتية: E = h v

إن الحد الأدنى للتردد يتفق كلية مع الحد الأدنى للطاقة: أيّ باستطاعة الفوتونات أن تنتج تيارا وذلك بانتزاع الإلكترونات مع شروط وجود طاقة كافية لذلك. وبالإضافة إلى «ظاهرة الكهروضوئية» هناك ظاهرة أخرى لا تقل شهرة عنها تسمى «ظاهرة (تأثير) كومبتون Compton effect» نسبة إلى الفيزيائي الأميريكي أرثور كومبتون Arthur Holly Compton (١٨٩٢-١٩٦٢) التي نشرت بعد عشرين عاما من تلك الظاهرة.

توضح لنا هذه الظاهرة أن الإلكترون يلتف عندما يصطدم بالفوتون وهذا التصادم يخضع بالتالي لقوانين الميكانيكا الحرارية الذي يبرهن على مضمون التصادم بين الإلكترونات وأيّ جسم حقيقي آخر. وهكذا أصبح وجود الفوتون أمرا لا محالة منه على الرغم من عدم مشاهدته بصورة مباشرة.

وثمة حقائق مثيرة تم اكتشافها مع بداية هذا القرن وهو حدوث استبدال (تبادل) عند كل القوى يضاف إلى ذلك هو وجود حد أدنى لهذا الاستبدال، فأقل أيّ دون ذلك لا يحدث أيّ تفاعل إطلاقا. وبتعبير آخر، لا يمكن لأيّ تركيبين أو نسقيين أن يتفاعلا دون أن يتم أيّ تبادل بينهما، فهناك قدر ضئيل مسؤول عن هذا التبادل هو «التفاعل الكوانتي» الذي يجب أن يتبادل لكي يتم التفاعل.

تصور جهازا قادراً على أن يسمح لنا برؤية الذرات، ويجب صرف النظر عن «تجربة آينشتاين النظرية» لأن هذا الجهاز ليس شبيها بها. وفي وقتنا الحالي توجد كاشفات على سبيل المثال مقياس أو عداد جيجر Geiger Counter نسبة إلى مخترعه الفيزيائي الألماني هانس جيجر Hans Geiger الذي اخترعه في عام ١٩١٢.

والكاشف الذري عبارة عن جهاز يكون أحد أجزائه دوما في حالة عالية من الاتزان اللا استقراري hyperunstable equilibrium، واللا استقرار هنا ناتج عن اضطراب إحدى الذرات الذي في حد ذاته دليل كاف لأن يسبب هذا اللا استقرار.

وباستطاعة الكاشف إذن أن يحول هذا الاضطراب غير المرئي إلى إشارة مرئية. وأوضح دليل على ذلك هو ما يعرف «بغرفة ولسون» Wilson Chamber نسبة إلى المخترع الفيزيائي الأسكتلندي ولسون Charles T. R. Wilson (١٨٦٩-١٩٥٩).

الجهاز في غاية الإبداع والروعة لدرجة البساطة، والبخار الموجود هناك على وشك التكثيف أما الجسيمات المشحونة كهربائيا فهي متحركة وقادرة على تأين الذرات على طول مساراتها، وإلى حد ما فإن السائل الآخذ في التكثيف بالقرب من هذه الذرات المتأينة يشكل في النهاية قطرات صغيرة قادرة على أن ترسم مسار الجسيمات بصورة جميلة وغاية في الوضوح والجلاء!

لنفترض الآن جهازا من هذا القبيل يتيح لنا رؤية الذرات (الذرة)، وهذا سيكون له تأثير مرئي (مكروسكوبيا) استجابة إلى التشوش غير المرئي (microscopic perturbation). إذن كيف يمكننا تفسير هذه الاستجابة؟ إن هذا الجهاز يحتوي بداخله على ذرات وهذا ما تتبناه النظرية الذرية، ولغرض الاستجابة المرئية فهناك على الأقل ذرة واحدة من بين هذه الذرات قادرة على أن تستقبل إشارة من الذرة القاذفة - تلك التي يمكن أن نحددها كجسم «object».

ولنفترض أن الكاشف ذو كفاءة ودقة وحساسية مناسبة، فإن عملية تكبير الإشارة والتي ستكون مرئية لنا تحدث دون أيّ تشوش (اضطراب) للذرة المنبعثة. ولذا تبقى الحقيقة وهي أن الإشارة لا بد وأن تقذف وترسل وتكبر كي تكون مرئية. وطبعا فهذا ليس دليلاً كافياً وسبباً مقنعاً للاعتقاد بأن الإشارة الموجودة على القياس الذري هامشية وضيئلة جداً. وبالعكس فالذرة المنبعثة بعدما أطلقت إشارتها فإنها لن تكون في وضعها السابق، وبتعبير آخر للحصول على نتائج يمكن قياسها فإنه من الضروري تأسيس تقارن coupling أيّ رابطة بين الجهاز والجسم، وأن هذه الرابطة ليست هامشية على القياس الذري ولا سبيل لمعالجتها، مما تشوش الجسم بصورة حتمية.

إن هـذا التشوش لا يمكـن أن يـؤول إلى الـصفر أيّ ينتهـي تماما إذا مـا قصدنا النتيجـة المـراد قياسـها! يـستطيع الفيزيـائي إذن أن يـسبب التفاعـل الكـوانتي لكـي يحـدث فعل عملـي أساسـي للنشاط العلمـي: أيّ بالفعـل التجـريبي، حيـث نـستطيع أن نجزم على أن التجربة دائما وأبدا ليست إلا تفاعلا. يضاف إلى ذلك أن هناك حداً أدنى لتقارن (رابطة) الجهاز والجسم، وهذا ما أهملته أو حاولت أن تتجاهله العلوم التقليدية.

هـل يمكـن الادلاء بتفسير كمـي لهـذه الفكـرة؟ نحـن بالفعـل نـستطيع أن نقدم شيئا من هذا، إذا ما أخذنا بالحسبان المفهوم الذي يبرهن على أنـه ذو أهمية للأنظمة (الأنساق) التي تحتوي على أعداد صغيرة من درجات الحرية كمـا هـو في الميكانيكا والميكانيكا الحرارية أيضا: إنه مفهوم «الفعل» action.

يعرف الفعل على أنه حاصل ضرب الطاقة في الزمن، وفي الواقع فإن جميع قـوانين الميكانيكـا التقليديـة يمكـن تعليلـها أو شـرحها بمبـدأ «الفعـل الأدنـى» Least action الذي اقترحه لأول مرة في مجال الضوء الرياضي الفرنسي لـويس دي موبرتـوس Louis Moreau de Maupertuis (١٦٩٨-١٧٥٩) وهـذا نـصه: «إن مقدار الفعل اللازم لأيّ تغير هو أدنى ما يمكـن حدوثه في حالة أيّ تغير ما».

هذا النص الذي قدمه موبرتوس Maupertuis بعد عامين من تعريفه «للفعل» الذي يقول فيه «إن الفعل هو حاصل ضـرب كـل مـن الكتلة والمكـان والـسرعة». ولكـي نفهـم أهميـة هـذا المفهـوم بلغـة عـصرية وجـب علينـا أن نـستدعي فكـرة «صورة (مرحلة) الفضاء/ المكان» Phase space التي سبق وأن تناولناهـا: إن مسار المنحني المتمثل بنقطة في المكان لأيّ نسق يتمتع بخاصية تقليل المقدار والـذي هـو في حد ذاته مضمون إحداثي للفعل نفسه ويسمى «بتكامل الفعل».

ويمكـن أيضا البرهنة علـى تكـافؤ مفهـوم الفعـل الأدنـى وكـذلك معـادلات لاكـرانج وهملتـون الميكـانيكيـة. مـع مراعـاة الفـرق بـين الفعـل والقـدرة، لأن

الأخرى هي حاصل قسمة الطاقة إلى الزمن بينما الفعل هو حاصل ضرب الطاقة في الزمن. وبامكان القارئ أن يتحقق من خلال ممارساته اليومية عند حمل الأجسام الثقيلة لمسافة معينة، فإن حاصل ضرب الكتلة والسرعة والطول (المسافة) يساوي مضروب الطاقة بالزمن.

لقد استعار موبرتوس Maupertuis بعض المصطلحات المستخدمة في الاقتصاد ولا تزال حتى هذا اليوم. ويمكن التعبير عن الفعل مثلا بأنه زمن الشغل work time وبكلمات أخرى الطاقة أو الشغل مضروب بالزمن.

ونعود الآن إلى فكرة «التقارن» coupling أيّ ترابط الكاشف والجسم غير المرئي الذي يسمح لنا بمشاهدته، ونستطيع أيضا قياس تشوش الجسم مع الطاقة. ودعنا نسمي الطاقة اللازمة للذرة الباعثة (القاذفة) والضرورية الحصول على نتائج القياس Δ E ×Δ E يمكن أن تكون سالبة أو موجبة. فهل يمكن أن تقترب E من الصفر هذا مع الاستمرار للوصول إلى النتائج المرجوة؟ من دون شك هذا ممكن ولكن شريطة أن تجرى التجربة في زمن لا نهائي! Δ A هو الفعل الذي يساوي حاصل ضرب القيمة المطلقة للطاقة المشوشة Δ E والفترة الزمنية Δ t للتجربة التي لا يمكن أن تكون قصيرة جدا.

أفترض بأن زمن الشغل ضروري للحصول على الاستجابة فإنه لا يمكن أن يكون مساويا للصفر، بمقدورنا إذن أن نفسر هذه الاستحالة بوجود فعل حتمي يمثل الحد الأدنى لجميع الأفعال الموجودة في هذا الكون وهو مشابه نوعاً ما لأسلوب غياب التفاعل اللحظي الذي هو شكل لوجود الحد الأقصى لجميع السرعات (ومن ضمنها سرعة الضوء) وهذا ما يعرف «بالفعل الكوانتي» quantum action ويساوي ثابت بلانك (h)[1].

---

١- و حيث إن التردد يتناسب عكسياً مع الزمن. فالعلاقة E = h ν تؤول الى h التي تكون ذات مضمون إحداثي للفعل

يمكن كتابة هذا الكوانتم على صورة مباينة هيزنبرج Heisenberg الأولى

$(\Delta A = \Delta E \Delta T \geq h)$

والتي توضح وجود ارتباط حتمي بين الجسم وجهاز القياس. ولقد أقترحت هذه الصيغة من خلال أعمال الفيزيائي السوفييتي ليف لانداو Lev Landau وكذلك انطباعات نيلز بوهر Niels Bohr من خلال مؤلفاته التي كانت مساهمة جبارة في النظرية الكمومية (الكوانتية). ولقد طورنا جميعا بالاشتراك مع مايكل سبيرو Michel Spiro بعضاً من هذه الأفكار في كتابنا «المادة - المكان - الزمان» ومع جين بيريه باتون Jean Pierre Baton في كتابنا «أفق الجسيمات».

والجدير بالاهتمام هو التأكيد بشدة على النتائج الابستيمولوجية لهذه الصيغة، وذلك لوجود تفاعل كوانتي لجميع التفاعلات/القوى التجريبية، ومن هذا المنطلق ليس بوسعنا الآن أن نعالج شروط الملاحظة بصورة مجردة. وهكذا فإن واحدا من تعاليم الفيزياء الكلاسيكية العظيمة قد لفظ أنفاسه الأخيرة، فتبعا لهذا المبدأ الذي لا يزال محل تأييد من قبل بعض الفيزيائين فإنه ليس هناك قضية في المعرفة العلمية.

وحتى الفيزيائيين الكلاسيكيين هم في واقع الأمر يعارضون هذا المبدأ في ممارساتهم اليومية، وحتى آينشتاين نفسه الذي كان يلام على ذلك لم يدر بالا لهذا المبدأ على الرغم من صراحته وسعيه الحثيث وطموحه المتواصل لوصف متكامل حقيقي عن الواقع. وكما رأينا آنفا، بأنه كان مجبرا ليفصح عن هذا الهدف بعد إعلان نسبيته العامة حول ما إذا تم إيجاد إطار الإسناد فإنه سيحل مكان الجاذبية، وهذا ما يحدث بالفعل موضعياً فقط.

ومهما تكن الحالة، ففي الفيزياء المعاصره لا طائل أبدا من تجاهل شروط الملاحظة. وهذا في الواقع رأيّ الفيزيائي بوهر Bohr الذي قال إننا مع الفيزياء

المعاصره لا نجرؤ على وصف الواقع نفسه بصورة مباشرة، ولقد شرح الفيزيائيون على ما أقترح على تسميته «الظاهرة»، باعتبارها عنصراً أو لحظة الواقع موضوعة تحت شروط الملاحظة والمعرفة تعريفاً دقيقاً.

فهذا التعبير الدقيق لهذا الوضع لاينكر أبدا وجود واقع مستقل عن الملاحظة، علما بأن معظم الفلاسفة كانوا يريدون معرفة وفهم الواقع بفارغ من الصبر.

إن فرضية بوهر والتي أنا ملتزم بها دون منازع تجعل منهجية الميكانيكا الكوانتية قابلة للجدل. لنأخذ الآن بالحسبان شروط الملاحظة، فإنه باستطاعتنا أن نغير هذه الشروط بأسلوب محكم وذلك كي يتسنى لنا صقل تمثلات الواقع وتصويره. ولكن الأمر بات في كمية الجهد اللازم لهذه الشروط لأن تؤخذ في الحسبان مع شكلية الفيزياء. لقد مضى الآن أكثر من مئة عام على اكتشاف بلانك الشهير ولكن الخلاف والجدل لا يزالا قائمين.

وإذا ما أخذنا شروط الملاحظة بالحسبان فإن الصعوبة تكمن - إذن - في مرونة المفاهيم الفيزيائية التي يجب أن لا تشكل عائقا. وإنه لبين وواضح جدا ما إذا كان المفهوم المعنى لوصف سلوك الجسيمات الأولية مثلا يحتوي على مصادر محددة للجهاز التجريبي المستخدم للمشاهدة، عندئذ سيكون المفهوم غير قابل للاستعمال، فالكفاءة غير العادية للكوانتم الشكلي تقبع في الحقيقة في أن مصدر شروط الملاحظة يحتفظ ضمنيا ومن ثم لا يعيق من استخدام المفاهيم.

وكما ذكرنا هو أن مفاهيم الكوانتم نسبية إذا ما أسندت إلى «الظاهرة»، وإذا ما قصدنا بهذه الكلمة الواقع كما هو موجود، ومهما يكن في الأمر فإن شروط الملاحظة/المشاهدة يعتمد بالدرجة الأساسية على الأجهزة

المرئية (المكروسكوبية) التي تحتوي على أعداد هائلة من الذرات والجسيمات المتساوية في الحجم والمرادة في وصف الجسم.

وأخيرا فشروط الملاحظة هذة يمكن تحديدها إحصائيا بصورة أفضل، وإن الفكرة الفذة التي جاءت لتعالج هذه المعضلة هي تلك التي توصي باستخدام «التنبؤات الاحتمالية» بدلا من «الحتمية» الدارجة لدينا التي هي احتمال الفيزياء الكلاسيكية في وصف الواقع الفيزيائي المتناهي في الصغر.

لقد أدى هذا الإبداع الجذري - ليس إلى سوء فهم فحسب - بل إلى مقاومة عنيفة، ومع ذلك ظل هذا الابتكار يؤكد فقط على حقيقية مردها أن المفاهيم الحتمية لن تكن جديرة بالثقة ولا يمكن تصديقها مهما كانت شروط الملاحظة التي تؤكد حتمية وجود الفعل الكوانتي وتقيدحساباتنا المفضلة في التقديرات الإحصائية.

وعلى أيّ حال كما يقول ليون روزنفيلد Leon Rosenfield[1] إن الاستعانة بالاحتمال لا يعني إطلاقا نكران الموضوعية العلمية: «فالاحتمال لا يعني العشوائية الخالية من القواعد والقوانين، ولكن العكس، هناك قوانين لهذه العشوائية. فالقانون الإحصائي هو أولا وقبل كل شيء قانون في حد ذاته، وهو تعبير عن الانتظام وأداة للتنبؤ».

## ثابت بولتزمان كمعلومة كمومية (كوانتية):

هناك طريقة واحدة في اعتقادي للتغلب على هذه المشكلات، وهو استخدام ثابت بولتزمان K الذي هو ضروري على الرغم من ضمنيتة في تحديد شروط الملاحظة وشموليته. ولقد مهد الطريق الفيزيائي الفرنسي ليون برلوين Leon

1- A. George, Louis de Broglie,Physicen et Penseur (Louis de Broglie Physicist and Thinker) Paris,Albin Michel 1953 , p.58

Brillouin (١٨٩٩-١٩٦٩) الذي أصبح أستاذا بجامعة هارفرد ومدير الأبحاث في شركة آي‌بي‌أم باقتراحه حول تفسير ثابت بولتزمان «كمعلومة كوانتية»، الذي كان باستطاعته أن يعمل فقط كنتيجة لتطور نظرية الكم. لقد كانت محاولاته منصبة على التخلص من شيطان مكسويل Maxwell's demon وبصورة أدق استخدم قصة رمزية لكي يبرهن على أن القانون الثاني للميكانيكا الحرارية محدود وليس له مضمون موضوعي في الوقت نفسه ومن ثم لا يمكن اعتباره كقانون في نطاق معرفتنا.

لقد تصور مكسويل صندوقاً مقفلاً بداخله غاز في حالة اتزان حراري، ويفصل الصندوق من الداخل حاجزان بينهما فتحة صغيرة تقوم مقام حابس أوكابح، وهناك شيطان افتراضي يتحرك داخل هذا الصندوق وهو أيّ الشيطان على معرفة تامة في كيفية قفل الكابح/الحابس دون إهدار للطاقة. وفي كل فترة زمنية فإن الجزئ المتحرك بسرعة يمكن رؤيته ويسمح له بالمرور إلى الجهة اليسرى من الصندوق، بينما الجزئ البطيء السرعة يسمح له إلى الجهة اليمنى، وبعد فترة من الزمن يستطيع الشيطان أن يفرق بين درجة الحرارة في الجهتين ومن ثم يستطيع إذن أن يستخلص طاقة ميكانيكية منها.

وتبعا لبرلوين Brillouin فإذا ظل الشيطان ساكنا دون أن يعمل شيئا، ففي هذه الحالة لا يمكن رؤية الجزيئات، فالذي كان يجهله مكسويل هو ما شيدته نظرية الجسم الأسود: لأن الجزيئات لا يمكن رؤيتها لكون الأشعة معتمة تماما، يضيف برلوين Brillouin من ناحية أخرى قائلا: امنح مكسويل القيمة التاريخية لذلك الجهل الذي لا يمكن تحاشيه، وحاول أن تتجاوز فكرته بالسماح للشيطان باستخدام الوميض لرؤية الجزيئات دفعة واحدة.

إن الذي برهنه برلوين Brillouin هو أن الشيطان سيواجه فعلاً كوانتياً (كمومياً) وعندئذ لا يمكن رؤية جزئ واحد دون إحداث أيّ تعديل أو تغير في

طاقته من دون التأثير على النسق بكامله. وإذا كان صحيحاً أن الشيطان قادر على الحصول على معلومات عن الجزئ فإنه سيرفع الأنتروبي لبقية الجزيئات الأخرى، وهكذا فإن الانتروبي تكون عبارة عن تكافؤ في المعلومات المفقودة ونستطيع أن نقول أيضا بأنِ هذه المعلومات تحتوي على أنتروبي سالبة negentropy[1] - علما بأن الأنتروبي والمعلومات لديهما نفس مضمون الاحداثي.

إذن وبمحاولة تقليل الانتروبي عن طريق قياس موقع الجزئ، فإن الشيطان سوف يقع تحت الكابح خالقا وراءه انتروبيا! حتى إذا كانت المعلومات مساوية إلى K (أو كما برهن برلوين بتحليل دقيق يساوي K مضروبا في لوغارتم ٢) فالشيطان يسبب / يحدث انتروبيا أكثر بدلا من المعلومات المكتسبة!

لم يستخدم برلوين المصطلح بوضوح بل فسر ثابت بولتزمان كمعلومة كمومية (كوانتية)، وهذه بالتالي تتضمن كمية أقل من المعلومات المرتبطة مع درجة الحرية الميكروسكوبية (غير المرئية). وبتعبير آخر، هي تلك الكمية التي تقل عن وجود أيّ معلومة أخرى، وإن كمية المعلومات المفقودة - التي لا سبيل لمعالجتها - تصبح كموما للانتروبيا إذا لم تحسب درجة الحرية هذه.

كيف يمكن لوجود مثل هذا الأنتروبي الكمومي أن يعطي خاصية أساسية للقانون الثاني للميكانيكا الحرارية؟ الإجابة في أعتقادي، ثمة علاقة دقيقة بين كموم الأنتروبي والفعل الكمومي، يبدو لنا الأخير كثمن/تكلفة المعلومات الكوانتية والذي يتماشى مع التفسير «الاقتصادي» الذي تحدثنا عنه أعلاه بالنسبة لمفهوم الفعل.

---

١- أيّ هناك تناقص في الأنتروبي -المترجم

لنستأنف الحجج والبراهين المقدمة أعلاه لإدخال الفعل الكمومي (الكوانتي): وبالنسبة للكاشف ومن أجل إعطاء استجابة مكروسكوبية (مرئية)، فعلى الأقل واحدة من الذرات يجب أن تستقبل إشارة محدودة من الجسم، وإن مضمون المعلومات هو في حد ذاته هي في حد ذاتها معلومة كمومية (كوانتية) وتكلفتها هو الفعل الكمومي (الكوانتي) نفسه.

إن القانون الثاني للميكانيكا الحرارية لا يمكنه إطلاقاً أن يعطي كفاءة مقدارها ١٠٠٪ للآلات الحرارية، وإن المولدات العديمة الأحتكاك والآلات الدائمة الحركة جميعها تعكس وجود التكلفة الكمومية (الكوانتية). وفي الواقع وبناء على على النظرية الذرية فإن كل نسق مرئي يحتوي على العديد من درجات الحرية، وإذا ما ألغي الاحتكاك مع أفتراض فصل الأعداد الكبيرة التي لا تصدق للبقع complexions والتي تقودنا بالتالي إلى تكلفة لا نهائية.

لقد لاحظ برلوين من عملية التخلص من «شيطان مكسويل» أنه إذا ما استخدم الفعل الكوانتي فإن ثابت بلانك سيتلاشى ولن يظهر بوضوح في التعبير عن المعلومات الكمومية (الكوانتية). وهكذا نرى الحذاقة الجدلية للثابتين K,h حيث إن النظرية الكوانتية للأنساق ذات الدرجات الحرية الصغيرة تعتبر h هو الثابت العام.

ويفترض الآن الأخذ بالحسبان شروط الملاحظة التي تطبق على الاستعمالات الممكنة للأجهزة المرئية، ومع ذلك فإن وجود الانتروبي الكمومي (الكوانتي) يدل على أن شروط الملاحظة من الناحية المبدئية أفضل منها من الناحية الإحصائية (أفضل إحصائياً). ولكن هذه الصعوبة يمكن التغلب عليها

جزئيا إذا ما سلمنا الأمر إلى تنبؤات المفاهيم الكوانتية، وحتى عندما ترتبط بأعداد صغيرة من درجات الحرية التي يجب أن تكون احتمالية فقط.

ومن أجل تأسيس الشكلية الكمومية (الكوانتية) فإنه من الضروري استعمال K على الرغم من الوجود الضمني لهذا الثابت، ومن ناحية أخرى كما رأينا سابقا أنه من أجل إعطاء المضمون الأساسي للقانون الثاني فنحن بحاجة إلى الفعل الكوانتي حتى إذا تلاشى ثابت بلانك نفسه من هذه الشكلية. لأن النظرية الكوانتية تشكل أساسا ضمنيا لهذه الشكلية الصارمة للإحصاء الميكانيك الحراري بل ضرورة مطلقة إن صح التعبير. وفي الواقع فإن القانون الثالث للميكانيكا الحرارية الذي ينص على أن أيّ نسق يصل درجة حرارة الصفر المطلق فإن انتروبي هذا النسق يساوي الصفر، وطبعا فهو ذو أساس كمومي بحت.

لقد طرحت الفرضية الآتية مع جين بيير باتون Jean Pierre Baton في عملنا المشترك «آفاق الجسيمات» L'Horizon des particules على أن العلاقة بين الثابتين K، h يمكن التعبير عنها بقانون جديد يساوي النسبة بينهما واقترحنا على تسمية هذه النسبة (b) نسبة إلى برلوين Brillouin وتقديرا له حيث $b = h/K$.هذا الثابت مضمونه الإحداثي يساوي حاصل ضرب درجة الحرارة في الزمن، وهي الكمية الفيزيائية التي تعبر عن تكلفة المعلومات بالنسبة إلى الفعل.

وعلى أي حال إذا كان كل من الفعل والمعلومة لديهما كوانتم فإن (b) ستكون إذن هي تكلفة الكوانتم. أما الفيزياء التي تعالج هذا النمط ستكون بالضرورة احتمالية: أيّ أن الدقة اللا متناهية اللازمة لحتمية التنبؤ ستكون إذن محالة وذلك بسبب التكلفة الخيالية. فهذه الخصائص يمكن تطبيقها كما رأينا في الميكانيكا الحرارية الإحصائية والميكانيكا الكمومية (الكوانتية) اللتين تأخذان في الحسبان ولو ضمنيا وجود الثابتن K، h وبالمثل النسبة بينهما.

هـذه الخـصائص يمكـن اسـتخدامها لوصـف عمليـات الفوضـى (الـشواش) الهيوليةChaoticprocess التي تم اكتشافها في النسقين الـديناميكا الـلا كمومية (الـلا كوانتيـة) والميكانيكـا الحراريـة لأن كليهمـا مرئيـان (مكروسـكوبيا) ويحتويان على أعداد صغيرة جدا من درجات الحرية كأزواج محتفظة بالتذبذب .like coupled and maintained pendula

أما تطـور هـذه الأنـساق فهـو شـواش في حد ذاته وهـذا نـابع مـن حساسيته الدقيقة للشروط الأوليـة. ومهمـا تكـن الـصلة بـين النـسقين قريبـة فـإن الـشروط الأوليـة لـن تكـون مماثلـة، أيّ تلـك الـتي تـؤدي إلى تطـورات شـتى ومـصيرها هـو الافتراق الحتمي. لأن التطور يمكن التنبؤ به أثناء فترة لانهائية فقط، وذلك ثمن الدقـة الـلا نهائيـة لتحديـد الـشروط الأوليـة، وهكـذا فـإن تكلفـة الكـوانتم ستكون حاجزا منيعا ومستحيلة أيضا لهذه الدقة اللا متناهية.

إنه من المثير حقا أن نلحظ مثل هذه الفيزياء الشواشة/الهيولية التي يمكن التوصل إليها عند حد معين، أيّ عندما يقترب كل مـن K و h مـن الـصفر (النهايـة الـتي لـن تكـون كوانتيـة ولا هـي ميكانيكـا حراريـة) ولكـن خـارج قـسمتهما كمية محددة هي (b).

لذا نرى الآن كيف ظهر مغزى هذين الثابتن K و h، كلاهما - دون شك - يمثلان دليلا على حدود المعرفة البشرية: وهو أن كل المعارف بثمن. فالزمن اللازم مثلا للتنبؤ بتطور نسق ما بالضرورة يثبت لنا محدوديته، وعلى هـذا المنحى هنـاك شيطان آخر لا بد من التخلص منـه هـو «شيطان لابلاس» the demon of Laplace الذي يعرف في لحظة ما موقع وسرعة جميع الجسيمات الموجوده في هذا الكون، بالإضافة إلى قدراته على التنبؤ بتطورات الكون اللاحقة.

لقد حطمت الفيزياء المعاصرة هذه السيادة أيّ «سيادة المخلوقات العاقلة» التي اقترحت في مستهل «مقالات فلسفية في الاحتمال» Essai philosophique sur les probabilites، حيثما يعتقد ظهور النصوص الأولى للنظرة الحتمية في العلوم. ويحصر الثابتان K و h الأفق الزمني، ومن ثم يعبران عن اللا تناغم (اللا أنسجام) هنا وللأبد.

إن جميع ما ذكر حتى الآن عن الثوابت العامة الأربعة لا يفي بالغرض وسلبي في أساسه. فهذه الثوابت تعبر بل تفسر الحدود المتأصلة للمعرفة البشرية، أيّ استحالة استنتاج من «هنا والآن» إلى «أيّ مكان وإلى الأبد». فهل هذا يعني بأن جميع العلوم ستكون مستحيلة؟ إن جدلية الصراع هي التي أيقظت الفيزياء منذ بداية القرن العشرين، وانتهى بها المطاف لأن تقرر على أن السؤال في حد ذاته بالغ الأهمية.

ولقد أتاحت لنا الثورة الكوانتية انقلابا هائلا وعظيما جدا ويمكننا وصفه على النحو التالي: ونتيجة الثورة االكوانتية، فإن الحدود المتأصلة في المعرفة البشرية أصبحت مواقع بل مراسي للتقدم العلمي الجديد.

## احتمالية السعات ومتممة الجسيم - الموجة

لقد سبق وأن ناقشنا مبادئ هذا الأنقلاب: لأنه لا يمكن إطلاقا تجاهل شروط الملاحظة (المشاهدة)، وإنه من المناسب جدا إضافتها إلى محتوى هذه المفاهيم، والقضية بكاملها، الاعتراف بذلك بحيث أن لا يكون على حساب مرونة المفاهيم.

يبدو لي الأمر ممكننا جدا ولكن ليس على ضوء ضلال فكر نيلز بوهر Niels Bohr (١٨٨٥-١٩٦٢)، من حيث الأخذ بالحسبان إعادة صياغة متطلبات شروط الملاحظة (المشاهدة) والذي أضافها إلى فكرة «الظاهرة». إنني أقترح

استخدام فكرة «الأفق» Horizon الذي يتقاسم مع فكرة بوهر حول الظاهرة تلك الخاصية التي تجمع «الموضوعية» و «الذاتية» معا.

فالأفق في حد ذاته موضوعي، لأن عدم وجود عالم، يعني ذلك عدم وجود أفق، وهو أيضا ذاتي لأنه يعتمد على موقع المشاهد (الراصد) والذي هو أفق في حد ذاته. وإن خطوط الأفق تفصل العالم إلى جزأين: الجزء الخاص بالمشاهد والذي نطلق عليه «العالم الحقيقي للمشاهد» proper world of the observer أو عالم الواقعية domain of actuality والجزء الآخر الذي يكون خارج نطاق هذا العالم أو العالم الممكن (المحتمل) domain of potentiality.

فخط الأفق يبدو لنا كشيء زائف غير حقيقي، ووجوده مرتبط با لمشاهد، ولا يمكن الوصول إليه أبدا لأنه دائما يتقهقر وينسحب، إنه متحرك وحركته توازي حركة المشاهد، وبإمكانه أيضا أن يتحرك بسرعة الضوء أو تحت تأثير فعل الكم (الكوانتم). ومع ذلك فنحن نعلم يقينا واحدا عن خط الأفق وهو بالتأكيد في هذا العالم الذي ندركه. وتبعا لهذا اليقين فإن الانقلاب الأساسي حول نظرية الكم يقف على الآتي: وهو أن العالم الحقيقي الآن ليس إلا موضعا بل مكان لجميع خطوط الأفق الممكنة ولقد برهنت النظرية الكوانتية على أنها نظرية لحركة خطوط الأفق، ولذا فإنني أطلق على مفاهيم الكوانتم التسمية «الأفقية horizontal» لتمثل وصفا ليس للعالم الحقيقي على غرار التعبير المتعارف علية في الفلسفات التقليدية الذي يجعله حقيقيا وإنما خطوط أفقية.

لقد رأينا كيف أن النظرية الكوانتية وجب عليها أن تعلن التنبؤ الحتمي لصالح التنبؤ الاحتمالي، ولكن التصديق على الفعل الكوانتي لم يبرهن من خلال استخدام النظرية الاحتمالية الكلاسيكية، بل كان من الضروري بناء مفهوم الأفق الاحتمالي، وهذا يدل على كيفية نشوء مفهوم «السعة الأحتمالية».

إنه العدد المركب complex number الذي يحتوي على جزأين أحدهما حقيقي والآخر خيالي وذلك من خلال تعريف العدد المركب نفسه. ويمكن أن يعرف أيضا بالمقياس (المعيار) modulus والطور (الحالة) phase حيث إن مربع المقياس (أو هو مجموع مربعات الجزأين الخيالي والحقيقي معاً)[1] هو الاحتمال (أيّ العدد الموجب الذي يقل عن الوحدة).

وبتعبير آخر السعة الاحتمالية هي الجذر التربيعي للعدد المركب للاحتمال، والسعة هي بالتالي توحد بل تجمع بين الكمونية (الإمكانية) potentiality والفعلية (الحقيقية) actuality: فالقطب الفعلي موضوع في المقياس modulus ويرتبط مباشرة مع الاحتمال الذي يمكن قياسه عن طريق تجارب متكررة، وأما القطب الكموني (الإمكاني) هو في الطور الذي لايمكن قياسه ولكن يسمح لأيّ إحتمال معطى بأن يرتبط كلية بمجموع فئات الكمونية (الإمكانية) potentially المكافئة للسعات والتي تختلف فقط في أطوارها (صورها).

إن الخطوط التي تصفها سعات الاحتمال لأيّ أفق هي كمومية (كوانتية) متميزة في حد ذاتها. هناك حالتان للنسق، بل طريقتان للتحويل، يقال عنهما كموميان لا ينفصلان وإذا أمكن جعل الفاصل/ التميز بين التكلفتين فإن أحدهما هو ذو فعل كوانتي. إن جوهر النظرية الكمومية الشكلية تكمن في استخدامها الصارم للسعات الاحتمالية، والقاعدة الفذة التي تلخص ذلك تنص على الآتي: تجمع السعات الاحتمالية في الواقع اللا مرئي (اللا متميز) وذلك بإضافة الأعداد المركبة بينما تجمع الاحتمالات في الواقع المدرك أو المميز.

---

١- مقياس العدد المركب هو القيمة العددية لطول المتجهة التي تمثل العدد المركب فمقياس a +ib هو a + b.

إن قاعدة جمع الأعداد المركبة للسعات الاحتمالية في الحقل اللا متميز، تسمح لنا ببناء شكلية جديدة لثنائية الجسيم والموجة والتي هي إرباك في حد ذاته لأحد خصائص العالم الكوانتي. لقد رأينا في الفيزياء الكلاسيكية أن القوى الكهرومغناطيسية يمكن وصفها بمعادلات مكسويل التي هي بالتالي تحكم ديناميكية الموجة، ولكن وصف إشعاع الجسم الأسود والظاهرة الكهروضوئية وظاهرة كمبتون جميعها تتطلب تمثيلاً جسيمياً للقوى الكهرومغناطيسية.

لقد كانت الفكرة الرئيسة عند نيلز بوهر ومدرسة كوبنهيجن التي يطلق عليها «التتامة» Complementarity أيّ متممات الجسيم والموجة: إنها نفس الواقع الكوانتي الذي يعتمد على شروط الملاحظة (المشاهدة) (مرة أخرى!)، تكشف لنا النقاب عن أبعاد الموجة والجسيم بالنسبة للمشاهد. وما نتائج هذه التتامات (المتممات) إلا في واقع الأمر مفارقات لم يُبتّ في أمرها بعد.

لنفترض على سبيل المثال تجربة يونج Young الكلاسيكية/التقليدية حول الشق المزدوج double - slit التي تسبب تداخلاً interference، فثمة تأثير معين لحدوث الموجة الديناميكية. وكما هو معروف فإن موجات المجال الكهرومغناطيسي لها أيضا القدرة على التداخل والذي يسبب بالتالي حزما ضوئية مترددة داكنة وأخرى غير داكنة تظهر على الشاشة.

وإذا كانت هذه القوى تتطلب تفسيرا جسيميا، فكيف يمكن وجود انسجام (تساوق) بين هذا التفسير وظاهرة التداخل؟ إذا قورن الإشعاع الكهرومغناطيسي مع فيض الفوتونات، فكيف إذن يمكن للفوتونات أن تتداخل بنفس طريقة الموجات؟ إذا أمكن تقسيم الموجة الكهرومغناطيسية إلى جزأين، كل جزء به فتحة تمر من خلاله الموجة، سيحدث - إذن - تداخل في

الموجات وعندئذ لن تتقسم الفوتونات بل سيكون لها الخيارات أما أن تمر خلال الفتحه أو لن تتداخل!

ومع ذلك، فإن السعات الاحتمالية غالبا ما تتداخل، وأن مسارات الفوتونات من الناحية الكوانتية بوسعها أن تأخذ إحدى الفتحتين، إنها مسارات لا يمكن تمييزها كما سبق وصفها، ومعرفة أيّ فتحة عبرها الفوتون، يتطلب إجراء تجربة تكلفنا على الأقل فعلاً كوانتياً واحداً. وحيث إن المسارين لايميزان فإن السعات الاحتمالية المتفقة يجب أن يضاف مصيرها كالأعداد المركبة كي تعطي المجموع الكلي للسعة الاحتمالية لتصادم الفوتون عند نقطة معينة على الشاشة.

وحيث إن الأعداد المركبة يمكنها أن تتداخل بصورة تركيبية - بنائية - أو ما شابه ذلك، فباستطاعتنا أن نشاهد على الشاشة المساحات المتغيرة الصغيرة منها والكبيرة لاحتمال تصادم الفوتون، أيّ تلك المساحات من الحزم المظلمة وغير المظلمة.

وهكذا فإن السعات الاحتمالية يمكن أن تستخدم لدراسة المسارات المميزة، والتجربة تؤكد لنا ذلك، وفي الواقع بإمكاننا أن نصمم أو نشيد أجهزة قادرة على أن تكشف لنا أيّ فتحة مرت خلالها الفوتونات وذلك عن طريق حساب عدد الصدمات التي نحن متأكدون كل التأكيد بأن الفوتونات مرت من خلالها. ونستطيع أيضا أن نكتشف أن التداخلات قد تلاشت تماما! وهذا التلاشي يدل على المسارات المميزة، لذا كان من الضروري إضافة الاحتمالات دون إمكانية للتداخل.

## البوزونات و الفيرميونات: Bosons and Fermions

لقد تجاوز لويس دي بروجلي Louis de Broglie (١٨٩٢-١٩٨٧) مسار التامية الكوانتية لديناميكا الموجة والجسيم ومن هذا المنطلق قال، حيث إن الظاهرة

الكلاسيكية/التقليدية للموجة لها تمثيل جسيمي في الحقل الكوانتي، فلِمَ لا ننظر إلى التمثيل الموجي في الحقل نفسه لظاهرة الجسيم الكلاسيكية؟ لهذا السبب أقترح أصطحاب فيض الإلكترون برزمة (حزمة) من الموجات.

إن الخصائص الكينيماتيكية للجسيمات، والطاقة E والزخم (كمية الحركة) p ترتبط مع خصائص الموجات والتردد v وطول الموجة λ وباستخدام معادلة آينشتاين $E= h\ v$ ومعادلة دي بروجلي $p = h/2\pi\lambda$ حيث h هو ثابت بلانك، فإن الشكلية للسعات الاحتمالية التي وصفت آنفا تتيح لنا إعطاء الشكل الكمي لهذه الرابطة.

إن الأفكار الرئيسة التي سقناها لتوضيح تجربة يونج Young بالنسبة للفوتونات يمكن إعادتها واحدة بعد الأخرى «تجربة يونج بالإلكترونات»، ولقد تم بالفعل إجراء تجارب كهذه مما حققت تأثيرا ذا فعالية وتعميما كبيرا لتتامة الموجة - الجسيم التي طبقها دي بروجلي.

فنحن الآن على وشك أن نرى بقدر من الوضوح كيف يمكن لحدود معينة من الإدراك أن تؤثر على مبادئ المعرفة وتسمح لنا دون مفارقات تذكر، وتكون بالتالي قادرة على صقل المعرفة التي حصلنا عليها من الواقع.

وبمجرد التفكير في خارج نطاق المميز (المدرك) discernibility لجأنا إلى فكرة «سعة الاحتمال»، وباحتضان هذا المفهوم استطاع الفيزيائيون أن يكتشفوا الخواص الضالة للعالم الحقيقي دون إلغاء لفكرة الأفق الذي جعلوه متحركا.

لنأخذ على سبيل المثال أبعاد الجسيم عندما نتعامل مع التفاعلات (القوى) أو أبعاد الموجة عندما نتعامل مع المادة، فهذا بالطبع يغني ويوضح لنا التفاصيل بدقة تمثلاتهم عن العالم الحقيقي، لأنه يمكن استنتاجهما الآن بوجود تمثلين -

أيّ التمثيل الجسيمي والتمثيل الموجي - فكل تمثيل قادر على توحيد المادة وتفاعلاتها (قواها).

ومهما يكن في الأمر، فإذا كان صحيحا وجود تمثيل جسيمي للتفاعلات (للقوى)، فلدينا إذن سبب في الاعتقاد بأن الجسيمات المتفاعلة ليست مماثلة إطلاقا لجسيمات المادة. فلا بد من البحث عن معيار يتيح لنا التمييز بين الجسيمات المصحوبة بالتفاعلات (القوى) والجسيمات المصحوبة بالمادة.

إن شكلية السعات الاحتمالية ستوفر لنا مثل هذا المعيار، وبمقدورنا إذن أن نفرق بين «البوزونات «و» الفيرميونات»، الأولى هي الجسيمات المتفاعلة التي تخضع لإحصاء «بوس - آينشتاين» Bose - Einstein، ويمكن الحصول على أعداد وفيرة منها بنفس مستوى الكم، و الفيرميونات بالمقابل هي جسيمات المادة نفسها والتي تخضع إلى إحصاء فيرمي Fermi و ديراك Dirac وسلوكها هو أن جسيما واحدا من نفس النوع بإمكانه أن يشغل مستوى كمومي واحد وجميعها تحكم بمبدأ باولي المرفوع Pauli's exclusion principle.

فهذا المبدأ قائم على فكرة كلاسيكية وقديمة أيضا - ولكن بشكل جديد تماما - هي أن جسيمات المادة غير قابلة للنفاذ، أيّ أن المادة لا تستنفد. وهذه الفكرة دون شك تعطي شرحا مقنعا للحقيقة القائلة بأن المادة لا يمكن أن تنهار في ذاتها تحت تأثير الجاذبية وإن الموجات المتفاعلة أو المتداخلة قابلة لأن توضع فوق بعضها بعضاً.

هذه الخصائص ذات طبيعة كلاسيكية تماما ويمكن التعبير عنها بنظرية الكوانتم من خلال الحقيقة الآتية، وهو عندما تكون الجسيمات في نفس المستوى، فإن أعدادا لا تحصى من الجسيمات المتفاعلة تكون موجودة إذن.

ويمكن الإشارة هنا إلى أنه كلما أزداد عدد البوزونات في المستوى نفسه رجح احتمال هذا المستوى.

وإذا صح التعبير بلغة مجازية، إذا كانت الفيرميونات تنزع إلى الأنفرادية فإن سلوك البوزونات سيكون جماعيا. فأشعة الليزر المعروفة عندنا جميعا تسلك الخاصية الجماعية (السربية) كي يتسنى لها أن تنتج ضوءا في غاية التماسك.

وحتى الآن لم نستوعب بعد حقيقة الثابتين K و h معا بوضوح تام، فهذا بالضبط ما تقوم به الفيزياء المعاصرة: لنأخذ K و h معا (أيّ في آن واحد) وذلك بتصور إحداثيات لهما في ما يعرف «الإحصاء الكمومي/الكوانتي»، فإن الأختلاف بين الحقل وأهداف حقل الفيزياء المتعلقة بالأنساق التي تحتوي على درجات حرية كبيرة يكون تأثير الكوانتم فيها فعالا. وبحوث كهذه تعطي نتائج غنية ورائعة وبالذات في مجال التقنية مثل فيزياء الحرارة المنخفضة والسيولة العالية والموصلات الفائقة على سبيل الحصر.

تعتبر نظرية الكم واحدة من أعظم إنجازات الفكر النظرية في القرن العشرين، ومن أجل المحاولة لفهم مضمونها دون الخوض الحتمي المقصور على تطورها التقني، فقد تطرقت إلى فكرة الأفق التي ليست مجازاً ولا هو مفهوماً علمياً بل «نموذجاً» Paradigm. وهكذا يبدو الأفق (النموذج) كما لو كان مصدقاً بالكراسات الثلاث الآتية التي سأسردها الآن، هذا النموذج يلعب دورا حاسما ليس في الفلسفة فحسب بل حتى في شعر القرن العشرين.

لقد كتب الفيلسوف السويسري جونست Ferdinand Gonseth في أحد أعماله الرئيسة عن العلاقة الموجودة بين الحدس والبدهيات والتجريب في الهندسة الحديثة الآتي: «إن النتائج الحالية لها الصلاحية لأن تتجاوز نطاق الهندسة، فهم

يعتبرون المعرفة قاطبة، كما يتسنى لنا القول إن المستوى الذي يبدو لنا الاعتقاد به هو أن معارفنا حتى عند حدودها القصوى ليست إلا آفاقا للمعرفة وأن هذه الحقائق التي بين أيدينا الآن ليست سوى أفق للواقع».

وكتب موريس ميرلو بونتي Maurice Merleau - Ponty أيضا وهو أحد أقطاب الفلسفة الظاهراتية والتي تعد أحد تيارات فلسفة القرن العشرين الكبرى: «إنه الاختبار الأستكشافي الذي أقوم به والهادف إلى الأشياء وإلى العالم، ذلك الإحساس الذي أشعر به بداخل أعماقي تلقائيا قادر على أن يجرني من النوعية إلى الفراغ ومن الفراغ إلى الأشياء ومن الأشياء إلى آفاقها إلى عالم موجود تلك هي علاقتي المكبلة بالوجود».

وهناك كتاب لمايكل كولت Michel Collet يعالج هذه القضايا الفلسفية مما كان له الأثر أو الدور الكبير في إعادة النظر في مفهوم «الأفق» وفيه قرأت الآتي: «إن الواقع الذي يعود إليه الشعر ليس في موضوعية الكون التي تحاول العلوم تأسيسه، ولكن بالأحرى ذلك العالم الذي ندركه ونمارسه والأخير لا يبدو لنا كأفق، إلا من زاوية معينة للموضوع، وبناء على التغير اللفظي فيما أدرك وما لم يتم إدراكه، بين إتقان البناء والإفساح في مجال الريبة (اللا تحدد)»[1]. والانطباع العام وراء هذا هو إعادة كتابة هذه السطور بكل وضوح وبساطة واستبدال التفكير في الفيزياء بكلمة «الشعر».

1- Michel Collot, La Poesie moderne et la structure d horizon (Modern potery and the structure of the horizon) Paris,PUF,1989,p.7

# إقتران النسبية بالكوانتم

منذ أن بزغت النسبية والكوانتم إلى حيز الوجود ومسألة إقتران هاتين النظريتين الرئيستين أصبحت الشغل الشاغل الذي حير عقول الفيزيائين. وظلت مسألة الإقتران مصيراً محتوماً لمستقبل دراسات الفيزيائين وما النزاع العنيف الذي دار بين آينشتاين وبوهر إلا حول هذه المسألة الشاقة، علماً بأن خلافهما لم ينته إلا منذ عقود قليلة والسؤال المطروح هو أين موقفنا الآن من هذا الصراع؟

يمكن القول أن التحدي كان مقبولا إلى حد ما، أيّ بصورة جزئية، وبصورة عامة استطعنا أن نوفق في الربط بين النسبية الخاصة والنظرية الكوانتية في آن واحد وذلك على حساب الثابتين C و h. ونتيجة لهذا الاتحاد تم التوصل إلى نموذج معياري لفيزياء الجسيمات الأولية والقوى الأساسية، وذلك ما تم إنجازه أخيرا في السبعينيات.

وكما نعلم فإن هناك أربع قوى «أساسية» ، لايمكن تفسيرها بأيّ قوة أخرى، وكما هو معلوم فإن قوتي الكهربية والمغناطيسية مختلفتان، وكان بمقدورنا أيضا أن نحدد على أن هاتين القوتين ليستا إلا أبعادا للظاهرة نفسها: أيّ للقوة الكهرومغناطيسية Electromagnetic interaction، التي تجعل الإلكترونات تدور حول النواة. أما القوة الشديدة Strong interaction فمسؤولة عن تماسك مكونات نويات الذرة، وأما القوة الضعيفة Weak interaction فشدتها طفيفة ومداها قصير جدا (أقل من ١٠٠/١ من حجم نواة الذرة) وتظهر هذه القوة عندما تتصادم جسيمات معينة أثناء تفاعل أو اضمحلال نووي ما.

ويطلق على المكونات الصغيرة للمادة - التي يمكن عزلها - «بالجسيمات الأولية» ، أما القوى - المذكورة اعلاه - فقد قسمت إلى فئات تبعا لوظائفها التفاعلية: أيّ تبعا للقوى المبذولة وإلى درجة حساسيتها. وهكذا تكلل هذا النموذج بالنجاح عندما قورن بالبراهين التجريبية، وأصبح بوسعنا الآن أن نلحظ هذا التلاعب لهذه miniscule الأجسام المحيرة - الجسيمات الأولية.

ولقد قدمت لنا النظرية النسبية العامة الأساس المتين للنموذج المعياري للكزمولوجيا، وهو الانفجار الأعظم الذي تم التطرق إليه آنفا. وعلى أيّ حال فإن أيّ محاولة في استخدام هذا النموذج على سبيل التقريب إلى الأذهان نصادف حتما مشكلة تكميم التفاعل الجاذبي الذي يهيمن على ديناميكية الكون. ومن هنا تبدأ مشكلة التزاوج بين النسبية العامة ونظرية الكم (الكوانتم)، وبتعبيرنا الخاص مشكلة الآنية (التزامن) التي يجب أن تأخذ بالحسبان الثوابت C, G, h. وإذا ما تم اللجوء إلى منحى آخر فإن فيزياء الجسيمات تواجه المشكلة نفسها: وهي كيف يمكننا إذن أن نؤكد على استمرارية انفصال قوة الجاذبيةعن محاولاتنا المتعلقة بتوحيد القوى الأساسية، بينما يبقى الادعاء بذلك باطلاً على صعيد الجسيمات الأولية! يبدو هذا ممكناً تماماً على المستوى الفوق مرئي Ultramicroscopic حيث لا طائل إطلاقاً من إهمال تأثير الكم، وعندئذ تكون شدة قوى الجاذبية قابلة لأن تقارن مع القوى الأخرى.

## النظرية الكوانتية للمجالات h و C معا:

ثمة صعوبات جديدة قد برزت من تلقاء الحقل الجديد الذي ينطلق من اعتبار الثابتين C و h على أنهما ليسا بزوجين حميمين في هذه الحالة، لأن رابطة كهذه تنتج لنا نظرية «المجال الكمومي»، ويمكن أن يقال عنها بإنها شبيهة بنظرية الجسيمات الأولية.

بوسعنا الآن أن نستدعي مباينة هيزنبرج الشهيرة كي نصف الفعل الكمومي، فهذه المباينة تبرهن على أنه لا يمكن أن نلحظ أيّ جسيم دون تعديل طفيف في طاقته إلا إذا تم إجراء تجربة ما تنتهي في فترة لا نهائية من الزمن. ويمكن تفسير هذه المباينة بصورة أخرى: وهو إذا ما شئنا أن نستكشف تركيبا زمنيا أو مكانيا بدقه متكاملة فإنه من الضروري أن ننقل إلية درجة عالية من الطاقة. ولكن النسبية الخاصة تخبرنا على أن طاقة الحركة يمكن أن تحول إلى طاقة كتلة من خلال إنتاج جسيمات جديدة.

إن الطاقة التي يجب إضافتها وكذلك البناء ذا الدرجة العالية من الاحلال الزمكاني الذي يمكن استكشافه لن يسبب حركة للجسيمات فحسب بل سيخلق لنا أيضا جسيمات جديدة! تحاول فيزياء الجسيمات الأولية أن تحدد المكونات الأساسية للمادة، وتبدو لنا هذه الفيزياء كأنها تحمل في طياتها أعدادا كثيرة من الجسيمات، وعلى هذا المنوال تبدو لنا الفيزياء أكثر تشابها بالكيمياء عنها بميكانيك كرات البليارد لأنها تتضمن فيزياء «واضحة» صريحة جدا، حيث إن جميع القوى الموجودة بين الجسيمات الأولية متصلة ببعضها بعضاً، ولذا وجب اعتبار تعاملها مع الأنساق الكوانتية بدرجات حرية لا متناهية، ويطلق عادة على نسق كهذا «مجالات الكوانتم (الكموم)».

وقبل أن نشرح المفهوم الجوهري للمجال، يحتم علينا أن نرى أولا كيف كان يستخدم مفهوم المجال في النظرية الكهرومغناطيسية الكلاسيكية. ونبدأ الحديث بقانون كولومب - نسبة إلى الفيزيائي الفرنسي Charles Coulomb (١٧٣٦-١٨٠٦) الذي يعرف القوة بين الشحنتين الكهربائيتين.

تصور الآن مجموعة من الشحنات الكهربائية منتشرة في الفضاء، بإمكاننا أن نصف القوى المبذولة لشحنة (شحنة الأختبار) ما عند نقطة معينة في الفضاء بواسطة هذه الشحنات. يعرف المجال الكهربائي على أنه مجموع

المتجهات Vectors عند كل نقطة في الفضاء لجميع القوى المبذولة بواسطة نقطة شحنات المجموعة. وقيمة محصلة المجال الكهربائي، أيّ المحصلة عند كل نقطة في الفضاء للقوى الكهربائية المبذولة على شحنة الاختبار تساوي تماما محصلة مجموع الشحنات.

وعندما نأخذ بالحسبان التأثيرات النسبية في الكهرومغناطيسية، كان من الضروري أن نعرف المجال الكهرومغناطيسي بنفس الطريقة (أيّ بمكوناته الكهربائية والمغناطيسية) كتركيب لانهائي منتشر في الزمكان. وإذا أخذنا في الأعتبار ليس فقط سرعة الضوء C بل ثابت بلانك h أيضا، أيّ إذا قبلنا بالتأثيرات الكوانتية، فإننا سنصل بالتالي إلى مفهوم في غاية الأهمية «للمجال الكوانتي (الكمومي)».

## تكامل مسار فاينمان The Feynman Path Integral

إن نظرية الجسيمات الأولية وكذلك القوى المساهمة فيها تحتوي أساسا على نماذج للسعات الإحتمالية لشتى القوى الممكنة بين هذه الجسيمات، وهذه بالتالي تشتمل على برنامج في غاية الطموح، وأن الجزء الأكبر منه تم إنجازه بالفعل بنجاح ملحوظ ومتميز في حالات معينة. ويعود الفضل الأكبر إلى تقدم هذا المجال في طريقة التكميم quantification method التي اقترحها فاينمان، الحائز على جائزة نوبل والتي يطلق عليها «طريقة تكامل المسار». ولسوء الحظ لكي يمكننا أن استيعاب هذه الطريقة تماما وجب علينا التعرف على بعض الأمور الفنية لنظرية الكوانتم، وبالطبع لا يمكننا أن نلم بتفاصيلها في نطاق هذا الكتيب.

وعلى أيّ حال سأحاول أن أناقش مغزى هذه الطريقة. فلقد سبق وأن تطرقت في الفصل السابق إلى استخدام نماذج الأفق والجهد الواقعي - التمفصل

الحقيقي - وذكرت أن تكاملات مسار فاينمان شبيهة تماما «بتصور عالم يكون موضعا (مكانا) لخطوط الأفق المحتملة». ويقترح فاينمان أنه عند انتقال نسق ما من الحالة الأولية إلى الحالة النهائية فإن ذلك يتم بإيجاد سعة الاحتمال لهذا الانتقال أيّ تحديد أولاً جميع المسارات غير المميزة أيّ تلك التي يأخذها هذا التحول، أما سعة الاحتمال فيمكن التعبير عنها كمجموع مركب لجميع سعات الاحتمال المرتبطة مع هذه المسارات غير المميزة.

إن هذه الخطوط شبيهة بتلك التي وصفها فرانسوا جاكوب Francois Jacob في Le Jen des possibles وهو: «إن الأسلوب العلمي يواجه بقسوة ما يمكن أن يكون وما كان، حيث تنشأ تمثلاتنا عن العالم، والتي تكون دائما وأبدا قريبة جدا على ما يطلق عليه «الواقع». أما الميزة الفلسفية لطريقة فاينمان فيجب أن تولى كل التقدير لصحتها والتي اعتقد أنها غنية تماما».

إن طريقة مكاملات المسار تتحاشى مواجهة المأزق الفلسفي الذي يدور بين الذات والموضوع، فالواقع الميكروسكوبي (غيرالمرئي) يعامل كأقطاب ثلاثية بحيث يمثل القطبان الآخران، قطباً حقيقياً وآخر جهدياً أما الواقع فلا يمكن تحديده قبليا apriori، وهو ليس خاضع لأيّ معيار أو فرضية مسبقة سوى فرضية وجوده المستقل تماما عن الفكر، ومن ثم فإن المحاولة لتحديد هذا الواقع استدلاليا a posteriori تبدأ بتصور جميع الأشكال الممكنة التي باستطاعتها وضع ما يسمى بقطب الجهد للأقطاب الثلاثة.

فالفضاء الجهدي الذي يقوم بجميع الأشكال الخيالية للوجود أو لهذا الواقع أو جميع مسارات التحول غير المميزة يمكن تحديدها إذن بخواص التجانس والتي تكافئ قوانين الاحتفاظ conservation، وتعرف هذه القوانين بالمتغيرات الديناميكية (الطاقة، الزخم، أعداد جسيمات الكوانتم التي يمكن تحديدها عن طريق الكاشفات) أيّ تلك صفات القطب الحقيقي لثلاثي الأقطاب.

## النموذج الكمومي للكهرومغناطيسية:

إن النتيجة الأولى الملموسة لطريقة مسار مكاملات فاينمان هي بناء نظرية كوانتية للقوى (التفاعلات) الكهرومغناطيسية. وباستخدام فكرة التقريب التقليدي فإن معادلات مكسويل التي تصف لنا هذه القوى يمكن استنتاجها من مبدأ «الفعل الأدنى» الذي تمت صياغته على أساس خواص معينة من التناسق. ويمكن أيضا تمثيل القوى الكهرومغناطيسية عوضا عن المجال الكهرومغناطيسي الذي هو في حد ذاته كاف ومناسب جدا لتبني «الجهد الكهرومغناطيسي» Electromagnetic Potential.

وهذا الجهد هو عبارة عن مجموعة من أربعة دوال تعرف ويمكن تحديدها عند كل نقطة في الزمكان وعن طريقها يمكن اشتقاق المجال (مكونات المجالات الكهربية والمغناطيسية يمكن الحصول عليها من مشتقات مكونات المجال نفسه). وإن الميزة الأساسية لهذا العرض لا ينطلق من منظور أكاديمي فحسب بل كما أعتقد تسمح لنا بمجال يوضح مدى وكيفية ظهور القوى الكهرومغناطيسية، أما على صعيد العرف التقليدي، فقد تبين لنا فائدة هذا النطاق في المجال الكوانتي.

ولكل مجال كهرومغناطيسي في الواقع مجموعة لانهائية من الجهود الكهرومغناطيسية يمكن من خلالها اشتقاق المجال، وعلاوة على ذلك فإنني أجد مفرد «الجهد» مناسبا جدا وهذا يقودنا إلى قياس المجال الكهرومغناطيسي عمليا وذلك لانتمائه في الأساس إلى فئة «الفعلية» actuality. وإن مسألة عدم تحديد «الجهد» يفيد المعنى الحقيقي للكلمة، بأن ذلك ينتمي إلى فئة «الجهدية» potentiality فقط.

وعلى أيّ حال فهذا اللا تحديد للجهد يعرف بخاصية التناسق (وبالمثل يعرف بالثبوت invariance) للقوى الكهرومغناطيسية: فالقوى ثابتة نتيجة عملية تحويلها من جهد إلى آخر معطيا المجال الكهرومغناطيسي نفسه وتحويل كهذا يعرف «بتحويلة القياس» Gauge transformation والثبوتية التي تناظره تعرف «القياس الثبوتي» gauge invariance للمجال الكوانتي للقوى وكل منهما مناسب للآخر تماما. وهكذا أسهبت هذه النتائج فيما بعد لتشكل نظرية القياس الثبوتي في الكوانتم الكهروديناميكي.

وعلاوة على ذلك فإن «المعجزة» التي ذكرت آنفا تبدو بأنها تحتوي على مضامين قد تغدو خارج نطاق القوى الكهرومغناطيسية والتي تتعلق بالقوى الثلاث الأساسية الأخرى - قوة الجاذبية، وقوتان آخريان تتصلان بالعالم غير المرئي (الميكروسكوبي) وهما القوة النووية العظمى والقوة النووية الضعيفة. أما بالنسبة لقوى الجاذبية فإنها تتعامل مع المستوى التقليدي الذي تصفه النسبية العامة، فهذه القوى لا تتغير بالنسبة للتغير المحلي لإطارالأسناد وهذا ما يقصد «بموضعية الثبات» locality of the invariance وقد سبقت الإشارة إليها في الفصل الأول فهي لا تختلف عن موضعية الثبات لقياس القوى الكهرومغناطيسية وإنما شبيهة بها تماما.

لقد اقترح هريمان فيل H. Weyl (١٨٨٥-١٩٥٥) في العشرينيات من القرن العشرين بديلاً للنظرية الهندسية لكوانتم الكهروديناميكي شبيها بنظرية النسبية العامة وبهذه المناسبة أدخل مفهوم قياس الثبوتية ولكن سرعان ما هجرت هذه الفكرة لعدم تقدم النظرية الكوانتية بعد، بالاضافة إلى أن تكميم النسبية العامة أثار صعوبات شتى وتساؤلات حرجة وسوف نتحدث عنها فيما بعد، ومهما يكن في الأمر فإن كوانتم الكهروديناميكي لعب دورا حاسما في تطوير نظرية التفاعلات النووية.

أمـا بالنـسبة للقـوتيين النـوويتين فهنـاك في الواقـع تناسـق أفقـي موضـعي لمجالات المادة يفصح عنه تناسق في معيار مجال القوى، وأنه لجائز تماما أن نختبر نظريات القياس الثابتة لها من تلك القوتيين. وهكذا فلقد كانت هناك جهود مـضنية طـوال خمـسين سـنة حـول بنـاء نظريـة كوانتيـة محكمـة للمجـالات وتطبيقاتها كـي تكـون قـادرة علـى وصـف القوى الكهرومغناطيسية والـضعيفة والعظمى وكان أحد إنجازاتها المبكرة هو شرح كـوانتم الكهروديناميك (QED اختـصارا) الـذي هـو في حـد ذاتـه مفهـوم كـوانتي ومفهـوم نـسبي للقـوى الكهرومغناطيسية.

لقد كانت هذه النظرية بمثابة الخلفية الاختبارية للتركيب النظري العام للنظريـة الكوانتيـة للمجـالات الـتي أفـسحت في المجـال لتقـدم ملمـوس في طريقـة مكاملات المسار (نماذج فاينمان، وتحسن في الشواش والتصحيح الإشعاعي وفي أسلوب السوية).

وهكذا نجحنا حقاً في إيجاد تأثيرات الكموم التي يمكن حسابها نظريا وكـذلك قياسـها بدقـة وتم بالفعـل التوفيـق بـين النظريـة والتطبيـق ممـا حققـت نجاحات رائعة. فالعزم المغناطيسي للإلكترون مثلا تم حسابه (و قيمته التقريبية تساوي اثنان) تبعا للحسابات الكلاسيكية ولكن القياس الفعلى له يساوي ٢.٠٠٢٣١٩٣٠٤٨٢ (ومقدار الخطأ في آخر خانتين عشريتين فقط) ولكن قيمته التنبؤية تساوي ٢.٠٠٢٣١٩٣٠٤٧٦ (وبالمثل مقدار الخطأ في آخر خانتين) ويمكن أن يقال بكل تواضع أن التوافق بين النظرية والتطبيق هو أعظم حدث تم بالفعل في تاريخ العلم!

## من الكواركات إلى النموذج المعياري:

لقد أصبحت كوانتم الكهروديناميكية نظرية مرجعية للنموذج الذي عن طريقه تأسست نظريات التفاعلات النووية وكان من الضروري أولا جمع البينات التجريبية لهذه التفاعلات النووية كي يمكن بناء نموذجها الظاهراتي. وأثناء مرحلة جمع البينات التي كان الجزء الأكبر منها في السنتين ١٩٥٠ و ١٩٦٠ حيث تم اكتشاف مجموعة من الجسيمات أطلق عليها الهادرونات Hodrons وهي شبيهة بالبروتونات ولها القدرة على المشاركة في التفاعلات (القوى) الأساسية وفي القوى العظمى على وجه التحديد.

لقد ولدت مجموعة الهادرونات إبان الستينيات ١٩٦٠ من نقطة عندما كانت الطبيعة الأولية لمكوناتها موضع ريبة: وهو كيف يمكن أن نتصور أن الوحدات الأساسية للمادة تقارب ثلاثمائة عنصر؟! وما النقطة الحاسمة في فيزياء الجسيمات الأولية وكذلك التفاعلات الأساسية إلا البرهنة على هذا المستوى الجديد للأوليات ودون المستوى الهادروني الذي يطلق علية دون الهادرونات Sub - hadronic أما أجزاؤه فيطلق عليه الكواركات Quarks.

لقد تم اختيار هذه الكلمة كي تأسر العقل وتحتفظ بهذا السر معلقا في الهواء وأن الفضول عن واقعية هذا الموضوع يوضحه مقياس الكوارك الذي يعرف اليوم بالمستوى المتناهي من السلسة اللا متناهية في الصغر، فالبروتونات والنيوترونات عامة بل جميع الهادرونات تتألف من أعداد من الكواركات.

وعندما نوقشت المسألة في الستينيات كنتيجة لاعمال موري جل مان Murray Gell Mann أيّ في عام ١٩٦٤ قدمت لنا الكواركات على هيئة نموذج رياضي صرف تماما ورويدا رويدا أخذت هذه الجسيمات طابعا متميزا على الرغم

من أنها لاتزال تثير تساؤلات ملحة: فلها خواص غريبة جدا فهي حرة فقط عندما تكون ضمن الهادرونات.

وفي عام ١٩٩٠ منحت جائزة نوبل لتجربة يقال عنها تجربة ستانفورد Stanford experiment برهنت على التركيب الحبيبي للبروتونات والنيوترونات مؤكدة فعالية النموذج الكواركي. والكواركات لا يمكن أن توجد خارج الهادرونات، أما نظرية القوى العظمى على مستوى الكواركات فتسمى «كوانتم كروموديناميك» وتختصر QCD. لقد مضى على هذه النظرية أكثر من خمسة عشر عاما، والجزء الأكبر والأهم في هذه النظرية هو أنها أصبحت مقبولة من قبل الفيزيائين وسميت بهذا الاسم لأنها تتعامل مع لون (كروموس chromos باليونانية) الكوراك وتشابه كوانتم الكهروديناميك. وكما أن الإلكترون يتفاعل باستبدال الفوتونات فإن الكواركات تتفاعل باستبدال البوزونات Bosons، تعرف بالجاليونات Gluons التي تؤثر بالتالي على لون الكوارك.

إنني أعتقد أن مصطلح اللون يعبر عن مغزى أفق النموذج حقا ونستطيع القول أن خط الأفق هو الذي يفصل العالم الهادروني عن العالم دون الهادروني. وإذا كان العالم الهادروني بالقرب من خطنا فإنه يمكن عمليا استكشاف الهادرونات - ونستطيع أن نتصور الكواركات وكذلك الجاليونات التي يمكن اكتشافها مباشرة من خلال وجودها خارج الأفق -: فكيف يمكن للمصطلح أن يكون مناسبا لذلك اللون الذي احتفظ بالعالم دون الهادروني بينما العالم الهادروني ليس إلا أسود وأبيض؟

إن بناء نظرية التفاعلات النووية الضعيفة يشابه إلى حد ما بتلك التي وصفت أعلاه وبالأضافة إلى الكواركات التي تساهم في جميع التفاعلات

(القوى) فإن هناك مجموعة من جسيمات المادة تسمى البتونات Leptons (من ضمنها الإلكترونات) التي تساهم في القوى الضعيفة وليس في القوى العظمى.

تساهم الكواركات في القوى الضعيفة وذلك عن طريق إحدى خصائصها التي نطلق عليها «نكهة» flavour (أنه لأمرعجيب جدا أن مصطلح الكواركات بالألمانية يعني الجبن الأبيض - البلدي - cottage cheese!). وبمتابعة التناظر التشابه الجرئي بين القوى الكهروديناميكية والكروموديناميكية، فإن الكواركات تتفاعل مع القوى الضعيفة بأستبدال البوزونات الوسيطة التي تعمل على نكهاتها وبالنسبة إلى اللبتونات فالذي يكافئ نكهة الكوارك يعرف أيسوسبن الضعيف (نظير اللف أو الفتل).

ولأكثر من عشرين عاما كان تطوير نظرية التفاعلات (القوى) الضعيفة مركزا وقائما على مسألة البوزونات الوسيطة، أولا على فرضية وجودها ثم مع أكتشافها التجريبي في عام ١٩٨٣ بمركز الأبحاث النووي الأوربي - جينيف - سويسرا CERN حدث هذا الاكتشاف نتيجة للمغامرة العلمية الغريبة جدا والتي تكررت مرات عديدة، والآن مع دراستها المنتظمة باستخدام LEP الصادم الفائق Supercollider في المركز نفسه CERN مصنع البوزونات الوسيطة. هذه الآلة التي بدأ العمل فيها عام ١٩٨٩ أعطت نتائج إيجابية. وإن جميع التوقعات للنموذج المعياري (الذي يجمع كوانتم الكهروديناميك والكروموديناميك ونظرية التفاعلات الضعيفة) تم التصديق عليها بالفعل بدرجة عالية من الدقة.

وبالاشتراك مع مايكل سبيرو M.Spiro في كتابنا «المادة والمكان والزمن» ذكرنا عن هذا النموذج الآتي: «في المسقبل ربما نسترجع الماضي ونقول بأن هذه هي الثورة العلمية الحقيقية»، أما في الوقت الحالي بأن توفر النتائج من LEP

تجعلنا نقول إن النموذج المعياري حقا يشكل الثورة العلمية وهذا بالفعل يعزز اقتران النسبية الخاصة بنظرية الكم.

## الكزمولوجيا وتوحيد القوى الأساسية:

على ضوء نجاحات هذا النموذج المعياري فإنه يحثنا على تجاوز المشابهه وثم المحاولة على توحيد القوى الأساسية، بمعنى آخر هو مكاملتها أيّ تعميمها إلى التأليفية النظرية كما قامت به معادلات مكسويل في توحيدها للظواهر الكهربائية والمغناطيسية والضوئية. إن هذا البحث نحو التوحيد هو في الأساس يقودنا بانتظام نحو المسيرة العلمية ويشهد تاريخ العلم على أن الحقيقة هي أن كل ثورة علمية ترتبط إلى حد ما بمبدأ التوحيد.

فالتاريخ الحالي لفيزياء الجسيمات والذي يقدر بعشرين عاما يبرهن على النزعة إلى التوحيد ويبقى هذا النزوع مهيمنا عليه، لذا من هذا المنطلق بدأت فيزياء الجسيمات تشق طريقها وتندمج مع الكزمولوجيا كفرع آخر يقف في طليعة الفيزياء، وما الجزء الأخير من هذا الكتاب إلا وصف لهذا التوافق وذاك الاندماج.

ولكي نفهم طريقة التوحيد وكيفية عمله أصبح من الضروري استخدام بعض المفاهيم على الرغم من صعوبة شرحها لسوء الحظ مثل إعادة السوية renormalization وتحطيم التماثل symmerty - breaking، ودون الخوض في تفاصيل الأمور الفنية، سأحاول شرح المغزى الجوهري لهذه التطورات.

لقد طورت طريقة إعادة السوية نتيجة المسألة الفنية التي برزت أبان استخدام طريقة مكاملة المسار وتحسين سعة الاحتمال عند انتقال محدد كمجموع للسعات المرتبطة بجميع المسارات المختلطة والذي يسبب الانتقال تحت

اعتبارات عدة تتضمنه في الواقع «نماذج» فاينمان وكذلك «السعات». ولكن الذي يحدث هو أنه عند سعة معينة ترتبط بمسارات محددة يمكن حسابها فقط من خلال التكاملات «المتباعدة» divergent والذي يكون ناتجها مساويا اللا نهائية.

إن هذه التباعدية مرتبطة بسلوك انتقال السعات عند الطاقة الفائقة جدا، أيّ كنتيجة لمباينة هيزنبرج وبالمثل سلوكها عند مسافة قصيرة جدا. هذه مشكلة رئيسة حيث إن الاحتمال اللا نهائي شيء لا يمكن ملاحظته! وإن طريقة إعادة السوية تسمح لنا إذن بالتغلب على هذه المشكلة: وذلك بحذف الجزء اللا نهائي الموجود في التكاملات وللغرض نفسه تضاف معالم parameter أخرى للنظرية.

إن قيمة هذه المعالم يمكن تحديدها تجريبيا أيّ عمليا ويقال إذن بأن النظرية ذات إعادة السوية إذا كان عدد المؤشرات الضرورية تكفي للغرض نفسه لحذف جميع التباعدات الممكنة غير اللا نهائية. ويمكن مقارنة نظرية إعادة السوية بالنتائج العملية، ولكونها قابلة للرفض فإنه على حد قول كارل بوبر Karl Popper يمكن اعتبارها نظرية علمية صحيحة. ولهذا السبب فإن معيار إعادة السوية يمكن اعتباره حدا حاسما لفيزياء الجسيمات النظرية.

وها نحن الآن أمام معجزة جديدة لقياس الثبوتية، و هي أن نظريات قياس الثبوتية يمكن جعلها سويا، بينما المحاولات السابقة لتفسير القوى الضعيفة كتفاعلات متصلة منيت بالفشل وتم شجبها وذلك لكونها نظرية لم يتم إعادة سويتها. ووجد أيضا بأن نظرية قياس الثبوتية يمكن أن تتبناها القوى الضعيفة أيّ باستطاعتها أن تندمج في مخطط قابل لتوحيد هذه القوة مع القوة الكهرومغناطيسية وبنفس القوى الكهرومغناطيسية.

إن إعادة السوية للنظرية ناتجة عن خاصية في غاية الروعة وهي في اعتقادي مرتبطة «بوجهة نظر» الأفقي horizontal والتي تعالج من خلال صفحات هذا الكتاب، وأن حذف التباعدات في طريقة إعادة السوية يتكون أساسا في احتواء اللا نهايات أيّ في إعادة تعريف المؤشرات التي تعتمد عليها النظرية، فعلى سبيل المثال الثابت الذي يقيس شدة التفاعل يعرف بالثابت المرتبط أو الشحنة الصاحبة للتفاعل، وهو الثابت الذي يتغير معتمدا على الدقة التي توصف بها القوى.

وباستخدام نموذج الأفق يمكن القول على أن الأفق يمكن أن يستبدل بدقة خارج نطاق التباعدات المحذوفة وأن خطوط الأفق يتم تشكيلها باستخدام كميات ذات تأثير يعتمد على شروط الملاحظة. وإذا تم قبول نظرية إعادة السوية كنظريات لقياس الثبوتية المستخدمة في القوى الكهرومغناطيسية والنووية، فإن الثوابت المرتبطة يجب اعتبارها ذات ثوابت فعالة معتمدة على الدقة ويمكن في هذه الحالة تصور الطاقة عندئذ.

إن الأسلوب الذي تعتمد علية هذه الثوابت في الطاقة هو ما تم التنبؤ به نظريا، أما بالنسبة للقوى الكهرومغناطيسية فإن تأثير إعادة السوية يمكن إدراكه حسيا بصعوبة حيث إن الشحنة على الإلكترون هي في حد ذاتها مستقلة تماما عن الطاقة. والوضع يختلف كلية في حالة القوى العظمى حيث إن الثابت المرتبط يعرف «بلون الشحنة» يتناقص مع زيادة الطاقة، وكذلك الأمر في حالة الطاقة العالية فإن القوى العظمى تكون ضعيفة! وبناء على هذه النظرية يمكن التنبؤ بوجود طاقة هائلة لا يمكن إطلاقا الحصول عليها من التجربة، حيث إن القوتين الضعيفة والعظمى تكون شدتهما واحدة.

وعلاوة على ذلك وكما سبق ذكره آنفا يبدو ممكنا توحيد القوتين الكهرومغناطيسية والضعيفة ويمكن أيضاً أن تصور على نحو متكلف توحيد

القـوى الكهرونوويـة. ولقـد أبـدى لنـا تغـيرا عميقـا نتيجـة الالتحـام مـع الكزمولوجيا...

وكما ذكرنا سابقاً فإن الفيزياء الفلكية عممت البيانات المستقاة من الملاحظة إلى تمدد الكون ثم إلى نموذج كزمولوجي وهو المعروف بالانفجار الأعظم Big Bang. وتبعا لهذا النموذج فإن الكون في حالة تمدد وأخذ يبرد تدريجيا منذ الانفجار الأول أيّ منذ ١٥ بليون سنة. ومنذ لحظة الانفجار أخذت درجة حرارة الكون تتناقص وتتناسب تناسبا عكسيا مع الجذر التربيعي للزمن وحيث إن درجة الحرارة هي متوسط الطاقة الحركية للجسيمات المكونة للكون الأولى (البدائي) فإنه يمكن القول أن معيار النموذج الكوني عبارة عن علاقة زمن وطاقة مشابهه لتلك التي تم استنتاجها في نظرية الكم المستقاة من مباينة هيزنبرج.

ومن الآن فصاعداً يمكن أستخدام مسبار الطاقة العالية لتحليل التركيب بدرجة عالية في إحلال الزمكان، وبتعبير أدق «العودة في الزمن» back in time وهي المحاولة المعملية (المختبرية) التي يمكن عن طريقها إنتاج نفس شروط الكون البدائي كما كان الأمر عندما كانت درجة حرارة الكون مساوية لمسبار الطاقة، وهذا يوضح لنا كيف أن فيزياء الجسيمات اكتسبت إحداثيا زمنيا مدهشا.

وحيث إن نظرية إعادة السوية تفيد أو تقترح على أن توحيد القوى يحدث في ظروف الطاقة العالية وأن الصورة أو الفكرة تنتج عن طريق اندماج فيزياء الجسيمات والكزمولوجيا وهو أن الكون ليس في حالة تمدد وبرودة وحسب بل في حالتي صيرورة وتطور حتى مرحلته الراهنة التي مر خلالها عبر سلسلة من

الأنتقالات، أيّ عندما كان مضغوطا وحارا، كانت جميع الجسيمات المتفاعلة مندمجة ولا يمكن فصلها أو تميزها.

ففي أثناء مراحل الانتقال أصبح بمقدور القوى أن تتميز وأن تنفصل منتجة تكاملات متتالية مؤدية إلى سلسلة من التركيب المرئي الذي نلاحظه الآن. إنه من الطبيعي جدا محاولة التعرف على ظاهرة انفصال القوى عن بعضها ومكاملة التركيبات المعقدة، ومن أجل ذلك نعود إلى الفيزياء الإحصائية حيث تمثل بدقة نظرية مرحلة الانتقال أحد الاهداف الرئيسة.

إن ميكانيكية انقطاع أو إيقاف التناسق التلقائي تمت استعارته أساسا من فيزياء الموصلات الفائقة التي أصبحت عنصرا تكوينيا للنموذج المعياري للقوى الضعيفة، فهذه الآلية كانت مسؤولة عن انفصال القوتين الضعيفة والكهرومغناطيسية والتي حدثت في جزء من بليون من الثانية بعد الانفجار الأعظم.

هذه الآلية أيضا تفترض وجود مجال كمومي جديد يعرف بمجال هكس Higgs field وإن النموذج الأدنى للايقاف التلقائي لتناسق الكهروضعيفة يقترح وجود جسيم واحد جديد على الأقل هو بوزون هكس Higgs boson. ولقد تمت بالفعل جدولة اشتغال ماكينات عملاقة مع بداية القرن الواحد والعشرين والصدام الأوربي الفائق LHC وكذلك الصدام الأمريكي الفائق اللذان ستكون مهمتهما هو البحث عن جسيمات جديدة أو أيّ تأثيرات مرتبطة بتحطيم التناسق الكهروضعيف.

ومن خلال مناقشتنا لخصائص الكواركات والجاليونات، استطعنا معالجة كوانتم الكرومودیناميك والنموذج الكواركي، حيث تبين لنا استحالة فصلها عن الهادرونات الأم. هذه الخاصية تعرف «بالولادة» confinement وبالمقارنة

بكوانتم الكهروديناميك ربما تقترح علينا بشدة على أنه توجد بداخل كوانتم الكهروديناميك مرحلة حرة deconfied تكون فيها الكواركات والجاليونات طليقة شبيهة بحالة البلازما في الكهروديناميك والتي تكون فيها الإلكترونات والأيونات حرة تماما.

أما الدراسة المختبرية للحالة الجديدة للمادة والتي يطلق عليها «بلازما الكواركات والجاليونات» وتعرف أيضا «كواجما Quagma» فقد استطاعت أن تفصل فيزياء الجسيمات عن الفيزياء النووية. وكان متوقعا عن طريق التصادم بين النوويات الثقيلة للطاقة العليا بأن شروط الكثافة والحرارة ستسمح للانتقال الانحلالي بأن يأخذ دوره. والمشكلة مع هذا النمط من التجارب التي تنتج من الأحداث المذهلة أو الدراماتكية كإنتاج آلاف الجسيمات مثلا من تصادم واحد فقط يكمن في الواقع في استخلاص المعلومات ذات الجدوى المتعلقة بالانتقال الممكن من بيانات التجارب المعقدة تماما.

أما التقديرات النظرية المرتبطة بظروف الكثافة ودرجة الحرارة لهذا التحول فستكون ضمن إطار الكزمولوجيا البدائية وستحدد الوقت اللازم لتشكيل الهادرونات من الكواركات و الجاليونات الحرة السابقة والتي ظهرت في حدود جزء من مئة ألف من الثانية بعد الانفجار الأعظم.

إن الإطار النظري لهذه التقديرات قد تشكل ليس فقط للفيزياء النسبية والكوانتية فحسب بل للفيزياء الإحصائية أيضاً والذي اتخذ صورة واضحة وجلية، وإذا ما أخذنا في الاعتبار الثوابت h،k, c ، فإن هذا الإطار الجديد الذي بدأ يسبر ويستكشف هو بالفعل نظرية الكم للمجالات عند درجة حرارة وكثافة محدودتين.

## آفاق كوانتم الجاذبية:

هذا الموضوع يأخذنا إلى الوراء إلى جوهر هذا العمل ودراسة الثوابت العامة. ويجب ألا يغيب عن الأبصار أن إحدى القوى الأربع الأساسية - هي الجاذبية - التي تركت جانبا لأن دراسة الجاذبية في حقل فيزياء الجسيمات أو الكزمولوجية البدائية تفترض على أن الثوابت العامة الثلاثة G,c, h وربما الأربعة جميعا. ومتى أضيف k فإنه يأخذ دورا في تأثير درجة الحرارة النهائية أو الكثافة في آن واحد، لهذا السبب تبدو كوانتم الجذب كتحد للفيزياء عامة.

وقبل الخوض في التفاصيل فإنه من المناسب جدا أن نحيط بالقارئ ببعض الأمور التي يجب التحقق منها وهي أن قضايا كوانتم الجذب تبدو في نهاية الأمر بعيدة المنال والإحاطة بتقدير كاف لأجل تسلسل المقادير. لذا ينصح دائما أستخدام وحدات تتكيف مع هذا الغرض. ففي فيزياء الجسيمات يصبح نظام الوحدات الطبيعية والتي تكون فيه h[1] و c مساويا تماما للوحدة.

هذه الوحدات عادية جدا في فيزياء النسبية (لأن سرعات الجسيمات تكون مساوية تقريبا لسرعة الضوء) وفي فيزياء الكوانتم تكون الأفعال المتضمنة هي دائما على هيئة رتب من كموم الأفعال، ففي هذا النظام من الوحدات كل شيء يحدث كما لو كان كمية فيزيائية أساسية بدلا من ثلاث كميات لأنه يوجد ثابتان اثنان متضمنان في الكميات الأساسية والتي هي المجموعة المساوية للوحدة.

ويمكن اختبار الطاقة على أنها الكمية الأساسية وفي هذه الحالة يكون الطول (المسافة) والزمن والكتلة عبارة عن كميات اشتقاقية، يمكن التعبير عنها بدلالة الطاقة: لأن المادة ليست إلا مضمونا إحداثيا للطاقة والمسافة والزمن

---

١- هذا في الواقع مقسوم على $2\pi$

لهما مضمون إحداثي عكسي للطاقة، ووحدة الطاقة المستخدمة هنا هي الجيجا إلكترون فولت Gev وهي عبارة عن الطاقة المنقولة (الممنوحة) للإلكترون بفرق جهد يساوي بليون فولت.

أما الكتلة فتساوي واحد Gev وهي مساوية تقريبا للكتلة الثابتة للبروتون (تساوي بالضبط 0.938 Gev) والمسافة التي تساوي 1/Gev تساوي جزءاً من فيرمي fermi أو ١٠^-١٣ سم الطول الذي يمكن مقارنته بنصف قطر النواة والزمن الذي يساوي 1/Gev هو تقريبا ١٠^-٢٥ ثانية أيّ الفترة النوعية للقوى/التفاعلات النووية وهو الزمن الذي يستغرقه الضوء في مدى فيرمي واحد.

إن مضمون الإحداثي الثابت للجاذبية هو حاصل ضرب الفعل والسرعة مقسوما على مربع الكتلة وفي النظام الطبيعي للوحدات G يساوي تقريباً $10^{-38}Gev^{-2}$ ويمكن إهمال عامل الجذب في فيزياء الجسيمات ومع ذلك فإن وجود الثوابت العامة الثلاثة يؤدي إلى وجود الكتلة الأساسية المعروفة بكتلة بلانك Planck mass والتي تساوي $10^{-19}Gev$. وتعرف المسافة الأساسية أيضا بطول بلانك Planck length وتساوي $10^{-38}Gev^{-1}$ أو $10^{-38}$ سنتيمتر وكذلك الحال بالنسبة للزمن الأساسي Planck time يساوي $10^{-19}$ $Gev^{-1}$أو $10^{-44}$ ثانية وجميعها قياسات للطاقة والمسافة والزمن ويكون الجذب فيها مكمماً quantic وبالتالي لا يمكن إهماله إطلاقاً.

إن النموذج الكلاسيكي للانفجار الأعظم لا يولي اعتبارا لتأثيرات الكوانتم في معادلات الجذب وما الانفجار الأعظم إلا تفردا singularity يتناسب مع القيمة اللا نهائية لدرجة الحرارة والكثافة عندما يكون الزمان مساويا للصفر، فعند زمن بلانك الذي يساوي ١٠^-٤٤ ثانية بعد الانفجار فإن النموذج الكلاسيكي يكون بالتأكيد خاطئاً، وحيث إننا لا نعلم بالضبط كيف

نتعامل مع الجذب كموميا، لذا نعتبر زمن بلانك هو الحد/ الأفق للكزمولوجية البدائية، وباختصار فإننا نحدد حالة الكون عند زمن بلانك كالانفجار الأعظم دون الحاجة إلى وضع الفرضيات الخاصة «بأصل التفرد».

وباستثناء قوى الجاذبية التي تعتبر ضعيفة بالنسبة للطاقات المتضمنة في فيزياء الجسيمات وهي بلا شك قوية في العالم المرئي (المكروسكوبي)، فقط فإن مداها لانهائي وهي قادرة أيضا على أن تؤثر في جميع الجسيمات التي تتكون من مادة (وذلك على النقيض من اللتفاعلات الكهرومغناطيسية والتي يكون جذبها أو تنافرها معتمدا على إشارة الشحنة الكهربائية).

وهكذا فإن الجاذبية لا يمكن إهمالها أو تجاهلها إطلاقاً على صعيد العالم المرئي وتبدو هي أيضا سائدة في هذا الكون الشاسع الرحب ولكن هذه القوى يمكن تجاهلها على صعيد الجسيمات الأولية فقط، وعلاوة على ذلك فإن البوزون الافتراضي لكواتم الجذب هو كرافيتون graviton يتفاعل ببطء مما يجعل وجوده غير ممكن عمليا، لأن موجات الجاذبية تم التنبؤ بها في النسبية العامة ولم تبرهن حتى الآن (يبقى اكتشافها أحد تحديات الفيزياء الفلكية للقرن الواحد والعشرين).

ولكن يخطر على بالنا التساؤل الآتي: لم نشغل أنفسنا بمعضلات كوانتم الجذب؟ أريد إعادة صياغة السؤال بطريقة أخرى: إذا كنت على دارية بنظرية الانفجار الأعظم فهل يدهشك سر «الانفجار البدائي»، بمعنى هل تستغرب ماذا كان قبل الانفجار الأعظم؟

وكما ذكرنا قبل قليل بأن المقصود بالانفجار الاعظم هو حالة الكون عند زمن بلانك وهو الزمن الذي يمكن للجذب أن يكمم. فإننا لا نستطيع أن

نحشر أنفسنا في قضايا مبهمة وآسرة لديناميكية الانفجار الأعظم دون اللجوء مسبقا إلى كموم الجذب، لأنه التفسير الجديد حول ثابت الجاذبية. وبالمثل عندما يرتبط بـ h و c فإنه يفتح أمامنا آفاقا مدهشة لأن زمن وطول بلانك يقترحان تركيبا كوانتيا للزمكان ذاته، ولنتصور أيضا المضامين الآسرة لنهاية تقسيم المكان وبالذات تقسيم الزمان.

أود هنا أن أحصر بعض النقاط لكي يكون بوسعي الاقتراح بالنسبة للتوتر الفكري المضطرب الذي سببته كوانتم الجذب، فإذا رغبنا في تعميم وتطبيق مسارات فاينمان التكاملية للجذب، فإنه من الضروري حصر جميع القياسات الممكنة للزمكان! فثمة محاولة بذلت لغرض تشكيل هذه المسألة ولكن ثمة عوائق واجهت فكرة عدم إعادة السوية وبالمثل بالنسبة للنظرية نفسها، ومع ذلك هناك تطورات عدة لحقت بذلك وهي ما يعرف بنظرية «الأوتار الفائقة» Superstring والتي تبدو لنا واعدة ومرجوة بغض النظر عن تحفظات معظم الفيزيائين والفزيائين الفلكين بالنسبة إلى المخطط الذي يبدو الآن عرضة لتخرصات بحتة.

ففي هذه النظرية تكون الجسيمات الأساسية ليست بجسيمات نقطية ولكن ذات إحداثي واحد تعرف بالأوتار، بينما الجسيمات النقطية تسير على مدى خطوط الكون (مسارات فاينمان) وتأخذ الأوتار إحداثيين اثنين على «مستوى الكون».

أما بالنسبة إلى تكميم نظرية الأوتار فإنها تكافؤ إذا ما تم حصر جميع مستويات الكون الممكنة وهذا في الواقع مماثل لمسألة كوانتم الجذب وعلى وجه التحديد مسألة كموم الجذب ولكن في الإحداثيين الاثنين الزمكان. ففي

إحداثي الزمكان أمكن تكميم النسبية العامة ضمن نظرية إعادة السوية وهذا ما تم بالفعل تعيينه.

لقد تمت صياغة النظرية الوترية للمرة الأولى في عام ١٩٧٠ وذلك تبعا للحاجة الماسة التي أفرزتها ظواهر التفاعلات (القوى) العظمى، فهذا النموذج تم تصميمه لتفسير توالد الكواركات التي تظهر كنهايات للأوتار أو الأقطاب المغناطيسية، وكما رأينا سابقا فإنه ليس بالأمكان فصل الكواركات، فحتى نهاية الوتر لا يمكن فصله إذا قطع، ولذا فنحن في هذه الحالة لدينا قطعتان من الوتر!

وهكذا فإن وضع النظرية الوترية قد تغير تماما وأصبحت معروفة وتلعب دورا آخر وبالذات في عملية التقريب التي تؤدي إلى كوانتم الجذب حيث تحتضن طول بلانك كطول أساسي. هذه الثورة التي أنجزها قريبا زميلنا وصديقنا جول شيرك Joel Scherk أدت بالتالي إلى نتائج غريبة ومدهشة مع انطلاق نظرية الأوتار الفائقة في عام ١٩٨٤ عندما كان يعتقد أن المعيار الذي يتيح لنا الفرصة تماما بتهذيب نظرية الأوتار قد تم أكتشافه بالفعل.

إن هذه النظرية قادرة على توحيد جميع القوى الأساسية ومن ضمنها الجاذبية في إحداثيات الزمكان العشرة على الرغم من أن ستة من هذه الإحداثيات مطوية على نفسها، وهكذا أصبحنا أقل تفاؤلا، لأنه وجد بأن المعيار الذي سبق ذكره لم يكن قيدا أو كابحا كما كان يتصور قديما، ومع ذلك فإن التحقيقات لم تستمر دون إخفاقات أو إحباطات: لأن الثبوتية تتماثل أيّ تأخذ خاصية «التناسق الأفقي» لنظريات الأوتار الفائقة، ومهما كان الأمر استثنائيا تبقى ذات مضمون فكري غني يضم بل يعمم القياس الثبوتي، فالشكر والتقدير إذن إلى نظرية «التناسق \التماثل الفائق» Supersymmetry التي تربط بين

البوزونـات و الفيرونـات وهـكـذا أصبح مـن الممكـن تمامـا توحيـد المـادة والقـوى العظمـى. وهـكـذا قـادني التفكير أخيرا علـى أن النمـوذج الكهروضعيف الـذي بدأت استخداماته تزدهر يمكن رده إلى نموذج الجاذبيـة - العظمـى ممـا يتيح لنـا بالتالي إلى طريق جديد نحو توحيد القوى الأساسية.

## نحو كزمولوجية علمية:

لقد أصبح فيزيائيو نظرية الجسيمات أكثر اقتناعا، لذا وجب عليهم أن يناصـروا نظريـة تكمـيم الجاذبيـة حتـى يتجـاوزا النمـوذج المعيـاري لفيزيـاء الجسيمات، وهـذا يبـدو أيضا بمثابة فك للرمـوز الـتي غالبـا مـا تـصادفهم أثناء استخدام النموذج المعياري للكزمولوجيا.

إن النموذج الكلاسيكي للانفجار الأعظم يحمل في جوفه نوعا ما بعض المشكلات الـتي يمكـن حلها كمـا اقترح بتصور مرحلة التمـدد الأسـي والـتي تعـرف «بالتضخم» أو الانتفـاخ في الكـون البـدائي وكمـا تعـرف أيضا «بنظريـة كزمولوجية الكون المنتفخ» وتبعا لعلماء الكزمولوجيا مثل أندريه لنديه Andrei Linde الـذي يقـول بـأن الانتفـاخ يـرتبط بكـوانتم الجـذب ويحـدث في زمـن بلانـك الذي سيؤدي إلى حل صعوبات الانفجار الأعظم المعياري.

هنـاك مدرسـة أخـرى يتزعمها اليـا بركـوكني Ilya Prigogine في بلجيكـا تفسر على أن الانفجار الأعظم ليس تفردا ولكن على صورة كوانتم غير مستقر في الزمكـان (أيّ كمـوم متحـرك في الزمكـان) وعنـد زمـن بلانـك يكـون الزمكان المستوى مجردا من المادة تماما، وكان يعتقد أيضا بأنه غير مستقر من الناحيـة الكوانيـة وأصبح منحنيـا نتيجـة انهيـاره منتجـا المـادة برمتهـا المحتـواه في الأنتروبي الأولي على شاكلة ثلاثة ثقوب سوداء كوانتية.

إن حوارا كهذا يبدو رائعا ولكن هناك بعض التحفظات المهمة من قبل أغلب العلماء الذين يفضلون الاستغناء عن الكزموجوني Cosmogony[1] عن مجال العلم ومن هذا المنطلق أشتد حماس هذه التحفظات أوجها بالمبدأ الإنساني المتشدد أو كما يعرف «مبدأ محور الإنسان»: وهو أن الكون يجب أن يسمح بوجود مشاهدين له في غمرة أيّ مرحلة من مراحل فترة تطوره «(ب. كارتر B.Carter)» هذه المقولة التي تحمل في جوفها أبعادا غائية في منتهى التزمت الديني تتيح الفرصة أخيرا لإثارة تخرصات دينية صرفة.

وختاماً أود أن أبدي وجهة نظري حيال هذا الموضوع، و كما أعتقد أن أحد مهمات العلم هو أن يلقي الضوء بكامل جديته على مسألة نشأة الكون. فالعلم جزء من الحضارة وما محاولات البحث الأساسية إلا جمع شتات الإجابات المتعلقة حول التساؤلات الفلسفية التي شغلت الذهن البشري منذ فجر التاريخ، وعلى وجه الحصر القضايا المتعلقة بموقف الإنسانية والتي سبق وأن أشرت اليها في مطلع هذا الكتاب فهي دون شك ذات جدوى وأهمية: وستكون المأساة فعلا إذا غاص العلم في المعضلات المتعلقه بنشأة الكون لغرض خدمة هولاء الذين يقفون أمام تقدم العلم وكذلك أصحاب الفلسفات العلمية الزائفة والمبررة لأهوائهم.

وبعدما وضعنا القيمة المنفعية للثوابت العامة التي نعرفها والتي يمكن اعتبارها موجودات متأصلة في الطبيعة نستطيع التحدث عنها كثوابت الطبيعة، أما في الوقت الحالي فإننا نستطيع التطرق عنها من زاوية أخرى جديدة أيّ بتفسير نفعي خالص: فهذه الثوابت ليست ثوابت الكون ولكنها ثوابت عامة في الفيزياء منها ما يعبر عن مجال ذاتي ضروري، فمثلا في كيفية التفكير في علاقاتهم - أيّ الثوابت - بالنسبة للطبيعة، ونستطيع أن نعتبرهم «حرس وقاية» تفرضها

---

١- النظرية المتعلقة بنشأة الكون -المترجم

الفيزياء على نفسها. ويأتي في المقام الأول الثابت c وهو الحد الأقصى لجميع السرعات الذي يعبر عن الاستحالة الطارئة عند مسافة ما، هذا وقبل كل يجب شيء الاعتراف التام بهذه الاحالة.

لقد رأينا كيف استطاع آينشتاين أن يتقدم بخطوات جريئة بالغة الدقة متحديا بجرأة: أنه لا يمكن لأيّ سرعة أن تضاهي سرعة الضوء فثابت بولتزمان وثابت بلانك يعبران عن هذه الاستحالة مثلا. فالحدود والقيود التي من غير المعقول أن نرفضها: وهو أن جميع المعارف تأتي بثمن وليست ثمة حركة أبدية لآلة أن توجد ولا يمكن التأثير على الماضي وبقبول هذه القيود فإن بوسع النظرية الكوانتية أن تفسح في المجال للتقدم العلمي التكنولوجي الذي تم إنجازه في القرن العشرين.

ولأول وهلة يبدو لنا ثابت نيوتن G غير قادر على أن يفسر كتعبير عن الاستحالة ولكن بالنقيض فنظرية الجاذبية التي طورها نيوتن ليست إلا مؤشرا على التحرر من خيال مركزية الإنسان بل نافذة جديدة على الفكر العالمي ومن ثم نظرتنا إلى الكون.

ومهما يكن في الأمر فقد رأينا سابقا كيف كان ثابت الجاذبية مرتبطا بالثابتين c و h، لذا فإن ثابت نيوتن يمكن تفسيره على أنه النهاية الحتمية لتقسيم كل من الزمان والمكان هذه النهاية التي تبدو نوعا ما مقيدة ومكبلة، ولكن ما هو الدافع الأساسي لخيال الفيزيائين مع أنهم لا يتركون ثغرة للتعقل. هذا هو الدرس الذي نستطيع أن نسوغه من هذا الكتاب وهو أن الثوابت العامة، أيّ ثوابتنا لا تجعلنا نقف مشدوهين فحسب بل تفتح أمامنا آفاقا جديدة، فعندما يظهر ثابت جديد فنحن نعلم إذن بأنه سيقلب مفاهيم الفيزياء رأسا على عقب.

# ببليوغرافيا

Baton, J. P, and Cohen-Tannoudji, G., L'HoriZOn des particles. Complexité et élémentarité dans l'Univers quantique [The horizon of particles. Complexity and elementariness in the quantum Universe], Paris, Gallimard, 1989.

Boudenot, J.-C., Électromagnétique et gravitation relativistes [Electromagnetism and relativistic gravitation], Paris, Ellipses, 1989.

Brillouin, L., Science and Information Theory, New York, Academic Press, 1962.

Cohen-Tannoudji, G., and Spiro, M., La Matiére-Espace-Temps. La logique des particles élémentaires [Matter-Space-Time. The logic of elementary particles], Paris, Fayard, 1986.

Feynman, R., Lumière et Matière: une étrange histoire [Light and matter: A strange story], Paris, Interéditions, 1987.

Hawking, S., A Brief History of Time. From the Big Bang to Black Holes, New York, Bantam Books, 1988.

Kastler, A., Cette étrange matière [This strange matter], Paris, Stock, 1976.

Newton, L, Principia Mathematica, trans. F. Cajori, Berkeley, University of California Press, 1962.

Prigogine, L, and Stengers, L, Entre le Temps et l'Éternité [Between time and eternity], Paris, Fayard, 1988.

Reeves, H., L'Heure de s'enivrer. L'Univers a-t-il un sens? [Time to rejoice. Does the Universe have meaning?], Paris, Le Seuil, 1986.

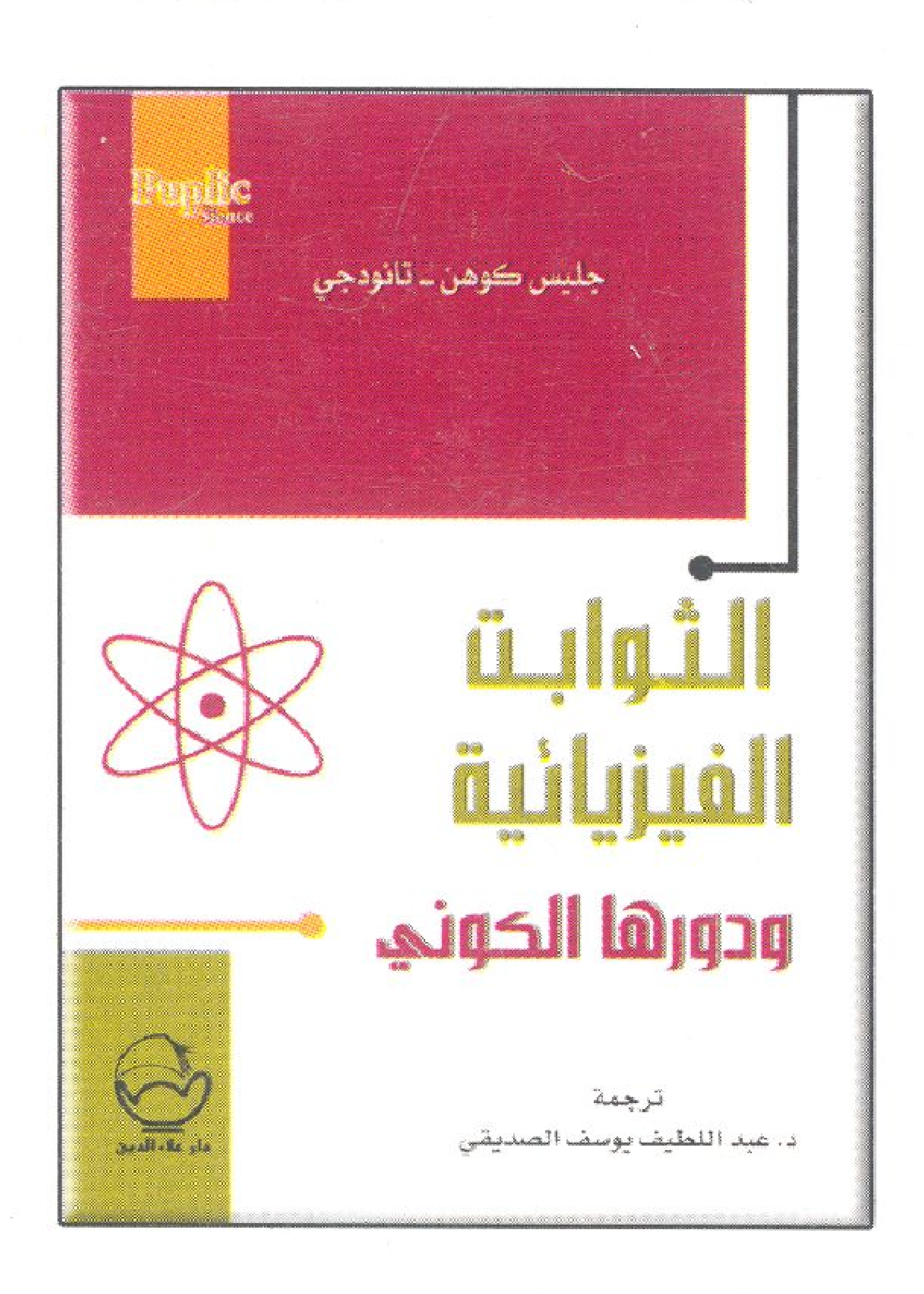
X' Thuan, Trinh, La Mélodie secrète: Et l'hornme créa l'Univers [The secret melody: and man created the Universe], Paris, Fayard, 1988.

Weisskopf, V, La Révolution des quanta [The quantum revolution], Paris, Hachette, (Questions de science Series), 1989.

# الفهرس

# من منشورات دار علاء الدين

- الأجسام الطائرة المجهولة
  ............ مجموعة مؤلفين
- الدقائق الثلاث الأخيرة
  ............ بول ديفز
- الله والعقل والكون
  ............ بول ديفز
- أسس التعامل والأخلاق في القرن الحادي والعشرين
  ............ جون باينس
- ١٠١ قضية علمية مجهولة لا نعرفها
  ............ جيمس تريفل
- قوة العقل
  ............ جيني سكوت
- المحركات الكهربائية وقيادتها
  ............ تاك كينشو
- عمارة الكون الوثاب
  ............ تشارلز جينكس
- طلي البلاستيك والمعادن بالكهرباء
  ............ م. وحيد طحان ـ م. نزار كاخي
- أسرار الكون
  ............ مجموعة من المؤلفين
- أسرار الفيزياء الفلكية والميثولوجيا القديمة
  ............ س. بريوشينكين
- الاستنساخ ما له وما عليه
  ............ مرتا س. نيوسباوم، كاس ر. سونشتاين
- الكون كما يراه علماء الأرض
  ............ ن. أ. بريمنكو




# Universal Constants In Physics

هذا الكتاب رحلة علمية في عوالم الثوابت الفيزيائية بوصفها الحلقة المفقودة بين المتغيرات، حيث تأخذ صورة منتظمة في حركة أبدية، ومن خلالها تحاول الطبيعة توحيد متغيراتها وقواها، لأنها التعبير السامي عن وحدتها ورونقها الجمالي. ويؤكد هذا البحث أن اكتشاف أي ثابت يميط اللثام عن سر من أسرار الطبيعة تحاول أن تخفيه عنا لما يحمله هذا الثابت من مضامين فلسفية تنير الطريق إلى اكتشافات أخرى. أو يفك رمزاً من رموز شيفرة الكون المذهلة.

يناقش هذا الكتاب ثابت نيوتن للجاذبية، وثابت بولتزمان في الحرارة، وثابت سرعة الضوء في النسبية، وثابت بلانك في ميكانيك ال... وذلك بعملية سبر عميقة لمتاهات هذه الثوابت وتحديد دورها في الط... وفي تاريخ العلوم، وارتباطها بأعظم رواد العلم المعاصر.



يطلب الكتاب على العنوان التالي: دار علاء الدين للنشر والطباعة والتوزيع ـ سورية ـ دمشق
ص.ب. ٣٠٥٩٨ ـ هاتف ٥٦١٧٠٧١ ـ فاكس ٥٦١٣٢٤١ ـ بريد إلكتروني ala-addin@mail.sy